

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**PRIMJENA METODA VITKOG MENADŽMENTA  
I ŠEST SIGME**

**ZAVRŠNI RAD**

**Damir Petrovečki, dipl.ing.stroj.**

**Zagreb, 2015.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**PRIMJENA METODA VITKOG MENADŽMENTA  
I ŠEST SIGME**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. **Nedeljko Štefanić**

Student:

**Damir Petrovečki**, dipl.ing.stroj.

**Zagreb, 2015.**

## PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 658.5

Ključne riječi: Vitki menadžment, Šest Sigma, DMADV, optimizacija

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Strojarsvo

Institucija u kojoj je rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Mentor rada: dr.sc. Nedeljko Štefanić, red.prof

Broj stranica: 100

Broj slika: 40

Broj tablica: 36

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 15

Datum obrane: 05.03.2015.  
dr.sc. Goran Đukić, izv.prof.  
(predsjednik povjerenstva)

Povjerenstvo: dr.sc. Nedeljko Štefanić, red.prof  
(voditelj završnog rada)  
dr.sc. Ilica Veža, red.prof. FESB-a, Split  
(član povjerenstva)

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**  
Poslijediplomski specijalistički studij  
Smjer: Industrijsko inženjerstvo i menadžment



Zagreb, 2. 4. 2014.

## Zadatak za završni rad

Kandidat: **DAMIR PETROVEČKI, dipl.ing.**

Naslov zadatka: **PRIMJENA METODA VITKOG MENADŽMENTA I ŠEST SIGME**

### Sadržaj zadatka:

Procesni pristup upravljanju proizvodnjom i uslugama pokazao se kao vrlo učinkoviti pristup kojim se efikasno transformiraju resursi poduzeća. Pri tome se procesi poduzeća dijele u dvije grupe: glavni odnosno temeljni te potporni ili podržavajući. Glavni procesi okrenuti su prema samoj proizvodnji dok su potporni procesi povezani sa krajnjim korisnicima.

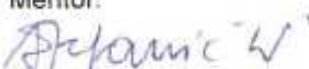
Razvijen je veći broj metoda i tehnika kontinuiranog poboljšavanja procesa: Vitki menadžment, Šest Sigma, Reinženjering poslovnih procesa, Kaizen, Benchmarking, Vizualni menadžment i druge. Primjenom navedenih metoda i tehnika, poduzeće postižu u relativno kratkom vremenu značajno povećanje učinkovitosti kroz smanjenje svih vrsta gubitaka u radu, smanjenje zaliha, povećanje kvalitete rada, motivirane zaposlenike, povećanje sigurnosti pri radu, poboljšanje izgleda prostora, zadovoljne korisnike te manje troškove. Posebno su se uspješnim pokazale metode Vitkog menadžmenta i Šest sigme kojima se postižu značajna poboljšanja u proizvodnji i pružanju usluga. Dok se Vitkim menadžmentom povećava brzina procesa, smanjuju troškovi i povećava produktivnost dotle se primjenom Šest Sigme značajno povećava kvaliteta rada, smanjuje se broj pogrešaka te snižuju troškovi. Iskustva iz prakse su pokazala da najbolje rezultate postižu poduzeća koja su primjenila i Vitki menadžment i Šest Sigmu.

Na primjeru proizvodnje farmaceutskih proizvoda potrebno je primijeniti metode Vitkog menadžmenta i Šest Sigme te kroz kvalitativne i kvantitativne pokazatelje (Vitka Šest Sigma metrika) pokazati opravdanost ovakvog pristupa. Potrebno je razraditi i metodologiju istodobnog uvođenja Vitkog menadžmenta i Šest Sigmu u neko poduzeće.

Zadatak zadan: 20. 05. 2014.

Rad predan:

Mentor:

  
Dr.sc. Nedeljko Štefanić  
red. prof.

  
Predsjednik Odbora za  
poslijediplomске studije:

  
Dr.sc. Dubravko Majetić  
red. prof.

Voditelj smjera:

  
Dr.sc. Nedeljko Štefanić,  
red. prof.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci, te mentoru, prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na savjetima i primjedbama tijekom izrade ovog rada.

U Zagrebu, siječanj 2015.

Damir Petrovečki, d.i.s

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
PREDGOVOR .....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY .....	VI
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	VIII
POPIS SLIKA .....	X
POPIS TABLICA.....	XI
1. UVOD.....	1
1.1. Opis problema .....	3
1.2. Metodologije i alati korišteni u radu .....	4
2. Prikaz korištenih metodologija i alata .....	5
2.1. Vitki menadžment .....	5
2.2. Šest Sigma.....	10
2.2.1. Šest Sigma metodologija.....	14
2.3. Vitka Šest Sigma.....	18
2.4. Modeliranje i simulacije procesa .....	22
2.4.1. Modeliranje sustava .....	23
2.4.2. Simulacija diskretnih događaja .....	24
2.5. Programski paket SigmaFlow .....	25
3. Procesi u farmaceutskoj proizvodnji .....	29
3.1. Osnovni procesi – proizvodnja API.....	29
3.2. Procesi podrške - Opskrba (toplinskom) energijom .....	30
3.2.1. Obrada i distribucija pitke vode .....	30
3.2.2. Proizvodnja DEI vode .....	35
3.2.3. Proizvodnja i distribucija suhozasićene vodene pare.....	37
4. Primjena sustava Vitke Šest Sigme u svrhu optimizacije procesa proizvodnje i distribucije pare .....	39
4.1. Faza Definiranja projekta.....	41
4.1.1. Postavke projekta .....	41
4.1.1.1. Poslovni slučaj .....	42
4.1.1.2. Definirane problema i Izjave o ciljevima.....	43
4.1.1.3. Opseg projekta .....	43
4.1.1.4. Temeljne (kritične) točke .....	43
4.1.1.5. Uloge u projektu .....	44

4.1.1.6. Projektni plan – Racionalizacija troškova proizvodnje i distribucije toplinske energije .....	45
4.1.2. Utvrditi potrebe (glas) kupca .....	46
4.1.3. Definirati proces - SIPOC .....	49
4.2. Faza Mjerenja procesa .....	51
4.2.1. Odabiranje procesa optimiranja .....	51
4.2.2. Definiranje plana prikupljanja podataka .....	53
4.2.3. Odrediti početnu točku – referentnu poziciju .....	55
4.2.4. Statistička procesna kontrola .....	56
4.3. Faza Analize procesa .....	57
4.3.1. Analiza procesa proizvodnje demineralizirane vode .....	57
4.3.2. Analiza sustava proizvodnje i distribucije pare .....	60
4.3.2.1. Potrošnja pare u otplinjaču i napojnom spremniku.....	61
4.3.2.2. Analiza gubitaka topline pri proizvodnji i distribuciji pare .....	63
4.3.3. Izrada mape procesa – VSM (eng. Value Stream Mapping) .....	72
4.3.4. Simulacija postojećeg (As-Is) stanja.....	74
4.4. Faza Dizajniranja procesa .....	81
4.4.1. Optimiranje procesa proizvodnje demineralizirane vode .....	81
4.4.2. Optimiranje procesa proizvodnje i distribucije pare .....	85
4.4.3. Izrada modela budućeg stanja (To-be).....	91
4.5. Faza Verificiranja.....	96
5. ZAKLJUČAK.....	98
LITERATURA.....	101
KRATKI ŽIVOTOPIS .....	103
SHORT BIOGRAPHY .....	104

## PREDGOVOR

Proizvodna poduzeća u današnje vrijeme nalaze se pred sve većim pritiskom smanjivanja svojih troškova kako bi opstali na tržištu. Da bi to ostvarili potrebno je prihvatiti „vitki“ (*eng. Lean*) način razmišljanja, te težiti uklanjanju svih aktivnosti i procesa koji ne dodaju vrijednost – to jest ukloniti gubitke.

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća mnoga globalna poduzeća prihvatila su načela Vitkog menadžmenta i Vitke proizvodnje, te ih integrirala u svoje svakodnevno poslovanje. Primjenom takvog pristupa i načina razmišljanja u svakodnevnim poslovnim procesima osigurali su značajne dobitke u području korištenja radne snage i opće produktivnosti. No, malobrojna su poduzeća koja su primijenila ta načela i na energetske produktivnost, to jest uključila energetiku u procese rješavanja problema uz pomoć „vitkih“ alata i principa. Jedan od razloga je zasigurno i činjenica da zahvati na sustavima energetike iziskuju i ne tako mala financijska sredstva, gdje opća stopa povrata investicija u energetiku nije tako kratka.

Značajan rast cijena energenata na svjetskom tržištu mijenja te trendove stope povrata investicija, te zahvati optimiranja energetike postaju prilikom, ali i nužnost.



## SAŽETAK

Mnoge organizacije kombiniraju vitke principe i Šest Sigma grupe alata, poznato kao Vitki Šest Sigma pristup, gdje se koncepti Šest Sige i vitkog načina razmišljanja koriste u svim sektorima organizacije, koji uključuju procese u proizvodnji, energetici i održavanju, uslužnim djelatnostima itd. s osnovnim ciljem provođenja poboljšanja koje uključuju optimizaciju operative, financijsku održivost, zadovoljstvo kupca, infrastrukturnu stabilnost i operativnu elastičnost.

Farmaceutska industrija je visoko regulirana i visoko profitabilna djelatnost, koja nije sklona mijenjati / poboljšavati procese koji se čine da daju zadovoljavajuće rezultate. No, isto tako, nije imuna na izazove u vidu konstantne potrebe za smanjivanjem troškova poslovanja koje su izazvane volatilnošću tržišta, gdje se javlja sve niža razina profita što tjera i farmaceutsku industriju da implementira metodologije poput Vitke proizvodnje i Šest Sige, kako bi ostali konkurentni i zadržali što višu razinu profita, koje se ostvaruju putem povećanja produktivnost, brzine i fleksibilnost.

Troškovi energije čine sve značajniji dio ukupnih troškova poslovanja, koji direktno opterećuju prodajne cijene samih finalnih proizvoda, te predstavljaju jedan od glavnih kandidata za optimizaciju. Svako poduzeće koje je u tržišnoj utakmici mora nužno uspostaviti sustav upravljanja troškovima, mjerenja relativne učinkovitosti potrošnje energije u pojedinim procesima, te trajno utjecati na troškove energetike. Smanjivanje potrošnje energije i ostvarivanje povećane energetske učinkovitosti je dokazana strategija za rezanje i kontroliranje troškova uz dobar povrat uloženog.

Cilj ovoga rada jest pokazati primjer primjene metodologije i alata Šest Sige i Vitkog menadžmenta na primjeru optimizacije dijela sustava energetike, kao jednog od potpornog procesa proizvodnji farmaceutskih proizvoda.

U uvodnom dijelu rada ukratko su objašnjene osnove metodologije Šest Sige i vitkog načina razmišljanja, na čijim je osnovama prikazan pristup rješavanja tipičnog problema vezan uz energetski sustav.

Sustav za upravljanje energijom postavlja smjer i ciljeve optimizacije, dok primjena vitkih principa i Šest Sigma pružaju tehnike **kako** ostvariti poboljšanja i željeni rezultat. Ove metode stvaraju kulturu kontinuiranog poboljšavanja, osnaživanje zaposlenika i minimizaciju gubitaka (otpada) s osnovnim ciljem identificiranju izvora gubitaka i neefikasnosti, te određivanju korijenskog uzroka problema. Osim navedenih metodologija ukratko su navedene osnove principa modeliranja i simulacija, te je prezentiran programski alat SigmaFlow koji je korišten u radu.

U nastavku rada, nakon prezentacije tipičnog procesa u farmaceutskoj industriji, prikazan je primjer primjene standardiziranog pristupa rješavanja problema optimizacije kroz DMADV pristup (eng. *Define Measure Analyze Design Verify*) koji može poslužiti kao svojevrsna "kuhara" kako pristupiti problematici optimizacije, kada je nužno bitno izmijeniti predmetni proces. Od strane vitkog načina razmišljanja imamo fokus na utvrđivanju svih izvora neefikasnosti procesa, iz kojih se i nominiraju "kandidati" za optimizaciju, dok nam metodologija Šest Sigma daje fokus na potrebe kupca i daje sustavan pristup vođenja projekata na jasan i strukturiran – fazni način.

Osnovna prednost koja se ostvaruje primjenom vitkog načina razmišljanja dolazi iz temeljito drugačijeg pristupa, to jest iz načina na koji se vodi i upravlja postrojenjima. Manji dio tih prednosti može se pripisati dodatnoj automatizaciji, bržoj opremi ili sofisticiranijem IT-u, no osnovno što čini razliku jest to - kako efikasno se oprema i ljudi koriste za povećanje ukupne efikasnosti i smanjenje vremena koje ne donosi vrijednost. Kao posljedica, kapitalne investicije imaju manji utjecaj na ostvarenje nego što se to može postići ulaganjem u vrijeme koje ulažemo za rješavanje problema i obučavanje operatera da primjenjuju nove standarde i alate.

Ključne riječi:

Vitki menadžment, Šest Sigma, DMADV, optimizacija

## SUMMARY

Many organizations combine the Lean and Six Sigma tools, known as the Lean Six Sigma approach, where the concepts of Six Sigma and Lean are used in all sectors of the organization which includes processes in production, energy, maintenance, services etc. with the main purpose of improving operative optimization, financial sustainability, customer satisfaction, infrastructural stability and operative flexibility.

The pharmaceutical industry is highly regulated and profitable, reluctant to meddle with production processes that appear to be performing acceptably. Nevertheless, it is not immune to challenges in the aspect of a constant need for reducing business costs, driven by market volatility, where the profit level is decreasing forcing the pharmaceutical industry to implement methodologies such as Lean and Six Sigma to ensure competitiveness and to keep the level of profit as high as possible. This can be achieved by increasing productivity, speed and flexibility.

Energy costs make a significant component in the overall operating cost which is a burden to the final product end price and by which is a main candidate for optimization. Every company which competes in the open market has to implement a cost management system, measurements of relative efficiency of energy consumption for each process and to permanently affect energy costs. Reducing the cost of energy and achieving a higher level of energy efficiency is a proven strategy to cut and control costs with a good return of investment.

Purpose of this paper is to show an example of the implementation of the methodology and tools of Six Sigma and Lean management on the case of optimizing part of the energy system as one of the support processes in the production of pharmaceutical products.

In the introduction, the theoretical approach of Lean and Six Sigma is defined on which the approach to solve a typical problem related to an energy system is shown.

Energy management system gives the direction and objective of optimization while the methodology Lean and Six Sigma offer techniques on how to gain improvements and get the aimed result. These methods make the culture of continuous improvements, empowerment of the employees and waste minimization with the main purpose of identifying waste and inefficiency sources and to find out the root cause of the problem.

Besides the mentioned methodology the basic principles of modeling and simulation are mentioned in short and the SigmaFlow software package which is used in this paper is presented.

After presenting the typical process in the pharmaceutical industry, an example of the application of a standardized approach to solving optimization problems through the DMADV approach (Define Measure Analyze Design Verify) is shown which can serve as a figurative “cookbook” on how to approach the issue of optimization and when it is necessary to significantly alter the process. From the side of Lean the focus is on establishing all the inefficiency sources of the process, from which the “candidates” for optimization are nominated, while the Six Sigma methodology gives us a focus on the needs of the client and a methodical approach to lead a project in a clear and structured way.

A main advantage that we can get from implementing a Lean way of thinking comes from different attitudes towards operating and managing the equipment. Little of performance advantage can be attributed to automation, faster equipment or more sophisticated IT. The key differentiator is how effectively assets and people are deployed to increase OEE and reduce non-value-added time. Consequently, capital investments have less impact than time spent tackling waste, and training operators to apply new standards and tools.

Key words:

Lean, Six Sigma, DMADV, Optimization

**POPIS OZNAKA I KRATICA**

5S	– Seiri, Seiton, Seiso, seiketsu, Shitsuke (sortiranje, organiziranje, urednost, disciplina, kontinuirano poboljšavanje)
API	– Active Pharmaceutical Ingredients
CTQ	– Critical To Quality
DFSS	– Design For Six Sigma
DMADV	– Define Measure Analyze Design Verify
DMAIC	– Define Measure Analyze Improve Control
DPMO	– Defects Per Million Opportunities
FIFO	– First In, First Out
FMEA	– Failure Mode and Effects Analysis
ISO	– International Organization for Standardization
IT	– Information Technology
KPI	– Key Performance Indicators
LIFO	– Last In First Out
OEE	– Overall Equipment Effectiveness
OPE	– Overall People Effectiveness
PDCA	– Plan Do Check Act
PEP	– Pliva Excellence Process

RO	– Reverzna Osmoza
ROI	– Return Of Investment
SIPOC	– Suppliers-Inputs-Process-Output-Customers
SMART	– Specific Measurable Achievable Realistic Time bounded
SOP	– Standardna Operativna Procedura
TPM	– Total Productive Maintenance
TPV	– Termička priprema vode
VOC	– Voice Of the Customer
VSM	– Value Stream Map

## POPIS SLIKA

Slika 2-1	Vitki pristup optimiranju .....	7
Slika 2-2	8 vrsta gubitaka .....	8
Slika 2-3	Izvori neujednačenosti i nefleksibilnosti .....	9
Slika 2-4	Izvori gubitaka .....	10
Slika 2-5	Učinak pomaka procesa od 1,5s koji rezultira s 3,4 DPMO .....	11
Slika 2-6	Stopa nesukladnosti i $\sigma$ razina kvalitete [9] .....	12
Slika 2-7	DMAIC – Define, measure, analyse, improve & control.....	14
Slika 2-8	Korištenje metodologija DMAIC & DMADV [13] .....	18
Slika 2-9	Simulacijski model .....	22
Slika 2-10	Simboli dijagrama toka u programskom paketu SigmaFlow Modeler TM.....	25
Slika 2-11	Mogućnosti određivanja svojstava objekata.....	26
Slika 2-12	Izgled sata simulacije .....	27
Slika 3-1	Shematski prikaz proizvodnje aktivne farmaceutske supstance.....	29
Slika 3-2	Klorinator – linija doziranja kiseline.....	32
Slika 3-3	Klorinator – ostale komponente .....	33
Slika 3-4	Principijelna shema proizvodnje i distribucije pitke vode .....	34
Slika 3-5	Shematski prikaz proizvodnje DEI vode.....	36
Slika 3-6	Sadržaj kisika u odnosu na temperaturu vode .....	37
Slika 3-7	Shematski prikaz proizvodnje i distribucije vodene pare.....	38
Slika 4-1	Primjer dokumenta Project Charter .....	42
Slika 4-2	Projektan plan–Racionalizacija troškova proizvodnje i distribucije topl. energije	45
Slika 4-3	Raspodjela količina pare po mjesecima .....	55
Slika 4-4	Termički proračun napojnog spremnika (proračunski model) .....	62
Slika 4-5	Specifična potrošnja plina za potrebe napojnog spremnika .....	63
Slika 4-6	Gubici propuštanja (protutlak 1 bar-a) .....	65
Slika 4-7	Popis distributivnih parovoda sustava 4 bar-a.....	67
Slika 4-8	Popis distributivnih parovoda sustava 9 bar-a.....	67
Slika 4-9	Temperatura u upojnom bunaru .....	68
Slika 4-10	Temperatura tla 1,5m od upojnog bunara .....	68
Slika 4-11	Primjer krivulje ispitivanja odvajača kondenzata .....	69
Slika 4-12	t-x dijagram vlažnih dimnih plinova .....	71
Slika 4-13	Dijagram toka procesa proizvodnje pare.....	73
Slika 4-14	Prikaz procesa u SigmaFlow prog. paketu .....	75
Slika 4-15	Definiranje karakterističnih vrijednosti aktivnosti procesa.....	76
Slika 4-16	Prikaz dijagrama toka procesa As-Is .....	77
Slika 4-17	Forma prikaza sažetka rezultata simulacije u SigmaFlow .....	78
Slika 4-18	Rezultati simulacije postojećeg stanja procesa .....	78
Slika 4-19	Konceptualna shema proizvodnje demineralizirane vode.....	83
Slika 4-20	Konceptualna shema utilizacije otpadne topline u kotlovnici.....	88
Slika 4-21	Prikaz budućeg stanja procesa u SigmaFlow soft. Paketu .....	91

## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Definiranje ciljeva, aktivnosti i alata po fazama DMAIC metodologije.....	16
Tablica 2.	Nivoi inovacije – metodološka podrška [13] .....	17
Tablica 3.	Usporedba Vitkog menadžmenta i Šest Sigme .....	19
Tablica 4.	Pregled Vitki menadžment i Šest Sigma metoda i primjeri primjene .....	21
Tablica 5.	Usporedba sustava dezinfekcije Cl vs. ClO <sub>2</sub> .....	31
Tablica 6.	DMA faza Projekta.....	40
Tablica 7.	DV faza projekta .....	40
Tablica 8.	Raspodjela potrošnje toplinske energije .....	46
Tablica 9.	Glas kupaca (VOC) .....	48
Tablica 10.	SIPOC tablica .....	50
Tablica 11.	Struktura varijabilnih troškova suhozasićene vodene pare .....	52
Tablica 12.	Struktura raspodjele proizvedene pare .....	52
Tablica 13.	Bilanca vode u procesu demineralizacije .....	59
Tablica 14.	Bilanca vode u procesu proizvodnje pare.....	59
Tablica 15.	Potrošnja pare i plina – as-is normativi .....	61
Tablica 16.	Karakteristika pare na otplinjaču.....	64
Tablica 17.	Karakteristika oduška napojnog spremnika .....	64
Tablica 18.	Gubici zbog propuštanja na sustavu 4 bar-a.....	66
Tablica 19.	Gubici zbog propuštanja na sustavu 9 bar-a.....	66
Tablica 20.	Suma gubitaka pare u distributivnim cjevovodima .....	67
Tablica 21.	Prikaz aktivnosti u procesu AS-IS proizvodnje i distribucije pare .....	74
Tablica 22.	Prikaz karakterističnih vrijednosti sadašnjeg stanja procesa.....	80
Tablica 23.	Potrošnja pitke vode postojeće stanje.....	84
Tablica 24.	Potrošnja pitke vode buduće stanje .....	84
Tablica 25.	Mjere grupe A – domena redovnog održavanja .....	85
Tablica 26.	Zbirni prikaz gubitaka – parna strana postojeće stanje .....	87
Tablica 27.	Zbirni prikaz gubitaka – parna strana buduće stanje .....	87
Tablica 28.	Mjere grupe B – domena investicijskog održavanja .....	87
Tablica 29.	Potencijal otpadnih toplota iskazana u pari .....	89
Tablica 30.	Mjere grupe C – domena opće sigurnosti.....	89
Tablica 31.	Mjere grupe D – domena konceptualnih promjena .....	90
Tablica 32.	Rezultati simulacije budućeg stanja procesa .....	92
Tablica 33.	Prikaz karakterističnih vrijednosti budućeg stanja procesa.....	93
Tablica 34.	Usporedba sadašnjeg i budućeg stanja procesa .....	93
Tablica 35.	Ostvarenje ciljeva projekta u odnosu na planirano .....	95
Tablica 36.	Ostvareno smanjenje gubitaka.....	95



## 1. UVOD

U današnje doba pred vodstva poduzeća postavljaju se sve veći izazovi koje nosi tržišna utakmica, gdje se javlja potreba za konstantnim propitivanjem vlastitih kompetitivnih prednosti naspram konkurencije. Kako bi poduzeća napredovala i ostvarila nužan preduvjet za opstanak, a to je kontinuirani rast, prisiljena su koristiti sva raspoloživa znanja kako bi optimirala vlastiti poslovni sustav.

Farmaceutska industrija, iako visoko regulirana i visoko profitabilna djelatnost, nije imuna na izazove u vidu konstantne potrebe za smanjivanjem troškova poslovanja. Ranije je većinom bio fokus na optimiranje troškova nabavke materijala i na efikasnijoj distribucijskoj mreži, dok je u današnje vrijeme fokus proširen na same troškove proizvodnih procesa, gdje se uvode "ključni pokazatelji izvedbe" – KPI (*eng. KPI - key performance indicators*) poput ukupne efektivnosti opreme (*eng. OEE – overall equipment effectiveness*) ili ljudi (*eng. OPE – overall people (labour) effectiveness*) što je do sada bilo karakteristično za industrije tipa industrije proizvodnje automobila, koje su obilježene sa vitkim načinom razmišljanja.

Kako su procesi u farmaceutskoj industriji izuzetno osjetljivi, bilo kakva intervencija na tim procesima mora biti temeljito evaluirana, ispitana i provjerena te odobrena od strane regulatornih tijela. No, bez obzira na to, volatilnost tržišta i sve niža razina profita tjera i farmaceutsku industriju da implementira metodologije poput Vitkog menadžmenta i Šest Sigme, kako bi ostali konkurentni i zadržali što višu razinu profita, koje se ostvaruju putem povećanja produktivnost, brzine i fleksibilnost.

Prosječna stopa rasta produktivnosti u farmaceutskoj industriji je 7% godišnje. No, nove studije usporedbe (*eng. Benchmarking*) 30 globalnih farmaceutskih proizvođača pokazuju da najbolje tvornice danas su već više nego dvostruko produktivnije nego njihovi konkurenti. Razlika će se i povećati ukoliko većina kompanija ne uspije efikasno odgovoriti na činjenicu da najbolji u klasi (*eng. Best-in-Class*) poboljšavaju svoju izvedbu i za 20% godišnje. [1]

Prednosti koje uživaju najbolje kompanije dolaze iz temeljito drugačijeg pristupa, to jest iz načina na koji vode i upravljaju svojim postrojenjima. OEE kod najboljih (gornji kvartil) je dvostruko bolji nego kod onih iz donjeg kvartila.[1]

PLIVA Hrvatska d.o.o. je jedno od poduzeća farmaceutske djelatnosti koja je prepoznala nužnost racionalizacije potrošnje i upravljanja troškovima energije, koji osim direktne financijske koristi omogućuju i ispunjavanje sve strožih standarda zaštite okoliša, u vidu manjih emisija onečišćujućih tvari iz stacionarnih izvora u zrak, te smanjenje količina otpadnih voda generiranih u energetske postrojenjima, kao dio brige o održivom razvoju.

Sa ciljem unapređenja poslovnih procesa u Globalnoj opskrbi proizvodima Pliva je još 2004. godine pokrenula projekt pod nazivom Plivin Proces Izvrsnosti (PEP-Pliva Excellence Process), a koji se zasniva na Šest Sigma principima i metodologiji, a koji se bazira na alatima iz Project Managementa te postupku primjene statistike. Primjena metodologije ima svrhu evaluacije procesa kako bi se oni odvijali bez prevelikih varijacija, nepotrebnih aktivnosti, posebice imajući u vidu potrebe cijelog lanca opskrbe koji na kraju završava krajnjim korisnikom ili kupcem.[2]

## 1.1. Opis problema

Energija je operativni trošak koji ima direktan utjecaj na profitabilnost.

S obzirom na povećanja cijena energenata zadnjih godina i uz predviđanje održanja te tendencije daljnjeg rasta cijena energije - postavlja se kao nužnost uspostavljanje učinkovitog Sustava upravljanja energijom čiji je zadatak dati odgovor na pitanje: Kako ostvariti troškovnu i ekološku učinkovitost u energetske izvedbi, uz zadržavanje pouzdanosti i efikasnosti poslovnih procesa?

Kao podrška efikasnom sustavu upravljanja energijom sve se više koristi pristup to jest skup alata poznati kao Vitki menadžment koji ima svrhu poboljšati operativne procese i način upravljanja. Vitki menadžment označava pristup poboljšanju koji je fokusiran na uklanjanje aktivnosti koje ne donose novu vrijednost (*eng. Non-value added activity*) ili gubitaka. Uz Vitki menadžment obično se primjenjuje i Šest Sigma pristup koji koristi statističke metode kako bi se poboljšala kvaliteta i smanjile varijacije

Mnoge organizacije kombiniraju Vitki menadžment i Šest Sigma grupe alata, čiji se koncepti koriste u svim sektorima organizacije, koji uključuju procese u proizvodnji, energetici i održavanju, uslužnim djelatnostima itd. s osnovnim ciljem provođenja poboljšanja koje uključuju optimizaciju operative, financijsku održivost, zadovoljstvo kupca, infrastrukturnu stabilnost i operativnu elastičnost.

Tijekom posljednjih godina mnogi globalni proizvođači su uprihodili značajne uštede na troškovima rada i produktivnosti koristeći principe Vitkog menadžmenta. Manji broj kompanija je primijenio znanja (*eng. Know-how*) Vitkog menadžmenta i na energetske produktivnost. Radnici na linijama, čak i viši menadžment doživljava energiju zdravo za gotovo, gdje gubici energije i energetske resursa nisu u fokusu problema kojima se bavi Vitki menadžment, što iz razloga da je previše kompleksna da bi se njome bavili zaposlenici na nižim razinama ili zadire u previše funkcija ili oboje. No, to je pogrešan stav. Iskustva iz prakse pokazuju da većina proizvođača mogu smanjiti količinu energije koje koriste za i do 30% upotrebljavajući principe Vitkog menadžmenta i promjenom načina razmišljanja na način da se fokusiraju na uklanjanje svega što ne donosi dodanu vrijednost za kupca. [3]

Usko vezano uz problematiku energetske učinkovitosti je i potreba za smanjivanjem ugljičnog otiska – to jest količine emisije stakleničkih plinova uzrokovanih na izravan ili neizravan način. Utrošak toplinske energije nosi značajan udio u ukupnom utrošku energije, za čiju se proizvodnju kao energent uobičajeno koristi prirodni plin, a čijim se izgaranjem ispuštaju onečišćujuće tvari, gdje je najznačajniji ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) i ugljikov monoksid (CO). Optimiranjem potrošnje toplinske energije ostvaruje se ne samo ušteda na troškovima energije, već se i smanjuje ugljični otisak.

Cilj istraživanja, to jest ovog rada, jest pokazati primjer primjene metodologije i alata Šest Sigm i Vitkog menadžmenta na primjeru optimizacije dijelova sustava energetike, kao jednog od potpunog procesa proizvodnji farmaceutskih proizvoda.

## 1.2. Metodologije i alati korišteni u radu

U ovom radu bit će prikazan pristup rješavanja problema optimizacije dijela sustava energetike kao dijela strateškog plana koji je u skladu sa smjernicama definiranih globalnim standardom za upravljanje energijom ISO 50001:2011.

Sustav za upravljanje energijom postavlja smjer i ciljeve optimizacije, dok vitki pristup i metodologija Šest Sigma pružaju tehnike *kako* ostvariti poboljšanja i željeni rezultat. Ove metode stvaraju kulturu kontinuiranog poboljšavanja, osnaživanje zaposlenika i minimizaciju gubitaka (otpada).

Cilj ovih metodologija je olakšati put ka:

- identificiranju gubitaka i neefikasnosti
- određivanju korijenskog uzroka problema
- ostvarivanju promjena koje poboljšavaju kvalitetu, smanjuju vrijeme trajanja i troškove i povećavaju zadovoljstvo kupca

## 2. Prikaz korištenih metodologija i alata

### 2.1. Vitki menadžment

Jedan od načina postizanja i unaprjeđivanja poslovne izvrsnosti je primjena sustava kvalitete - Vitki menadžment.

Vitki menadžment znači stvaranje veće vrijednosti za kupca sa što manje resursa. Vitka organizacija zna koje vrijednosti njihovi kupci zahtijevaju te fokusira svoje ključne procese na način da kontinuirano dodaju vrijednost za kupca. Eliminacija gubitaka u cijelom procesu, umjesto samo u određenim dijelovima sustava, stvara procese u kojima je potreban manji ljudski napor, manje prostora, manje kapitala i manje vremena kako bi se izradio proizvod ili usluga s mnogo manje utrošenih sredstava.

Najvažniji su elementi Vitkog menadžmenta koncentracija na temeljne djelatnosti (*eng. Core business*), delegiranje aktivnosti van organizacije (*eng. outsourcing*), proizvodnja preko visoko autonomnih „centara“ i postizanje načela "0 grešaka" (*eng. zero-defect*). [4]

Postoje pet osnovnih načela Vitkog menadžmenta:

- 1. Vrijednost :** Identificirati i izraditi proizvode ili usluge koje dodaju novu vrijednost prema klijentovim očekivanjima, osiguravajući puno zadovoljstvo klijenta i iznad toga.
- 2. Tok vrijednosti :** Identificirati vitalne korake koji omogućuju efektivnu produktivnost ili tok rada uslužne djelatnosti. Identificirati nepotrebne korake koji rezultiraju gubicima. Optimizirati tok rada tako što ćemo eliminirati korake koji ne donose novu vrijednost, te ponovo uspostaviti tok vrijednosti.
- 3. Tijek :** Eliminirati korake u radnom tijeku koji stvaraju prekidanje, vraćanje tijeka, odgađanje ili destrukciju. Kreirati efektivne korake bez negativnih efekata da bi se kreirao tijek vrijednosti.
- 4. Povučiti :** Opskrbljivanje samo na zahtjev. Proizvoditi onda kada klijent povuče, da se ne bi gubili ili gomilali resursi

**5. Savršenstvo :** Težiti savršenstvu tako što će se uzastopno pri otkrivanju uklanjati slojevi koji stvaraju gubitke.

Metodologija Vitkog menadžmenta počela se prvotno primjenjivati u Toyotinim proizvodnim pogonima oko 1950. godine u cilju rješavanja specifičnih problema koji su u to vrijeme postojali, a ne kao univerzalna metodologija primjenjiva na sve proizvodne grane i operacije. Ideja Toyotinih djelatnika bila je osmisliti sustav koji će omogućiti dostavu polaznih materijala u proizvodnju kao i gotovoga proizvoda do krajnjega kupca točno kad je potrebno (*eng. Just In Time*) smanjujući zalihe u svakome koraku na najmanju moguću mjeru. Da bi to postigli, trebali su ukloniti razloge postojanja zaliha kao što su kapaciteti opreme, različite veličine serija, vrijeme potrebno za podešavanje strojeva kao i razloge u tijeku proizvodnih procesa.

Problemi započinju s proizvodnom opremom koja ima veće kapacitete ili radi brže nego što je to potrebno za samo jedan proizvod. S uporabom iste opreme za više proizvoda troši se vrijeme za čišćenje i podešavanje opreme. S druge strane nastoje se raditi veće serije koje pak mogu dovesti do stvaranja zaliha.

Isto tako različiti proizvodi mogu imati različite procese dobave i obrade materijala, što isto može dovesti do povećavanja broja aktivnosti. Tijekom svega toga dolazi do raznih vrsta rasipanja ili nepotrebnih aktivnosti (japanski = muda, engleski = waste = bilo koja aktivnost ili rasipanje koji troše resurse, a ne daju dodanu vrijednost). [5]

Bit Vitke proizvodnje kao sustava upravljanja kvalitetom je skraćivanje vremena od zaprimanja narudžbe do trenutka isporuke finalnog proizvoda kupcu, na način da se eliminiraju sve one aktivnosti koje ne stvaraju dodatnu vrijednost, uz bitan naglasak da su **svi** zaposlenici uključeni u procese kontinuiranog poboljšanja.

Vitka proizvodnja naglašava kontinuirano poboljšanje i poštivanje ljudi. Većina menadžera više prakticira kontinuirano poboljšanje, ali poštivanje ljudi je ono što je ključno da bi se postiglo kontinuirano poboljšanje. Simultana primjena obaju principa rezultira eliminacijom gubitaka. U ovom kontekstu, gubici su aktivnosti i ponašanja koja povećavaju troškove, a ne

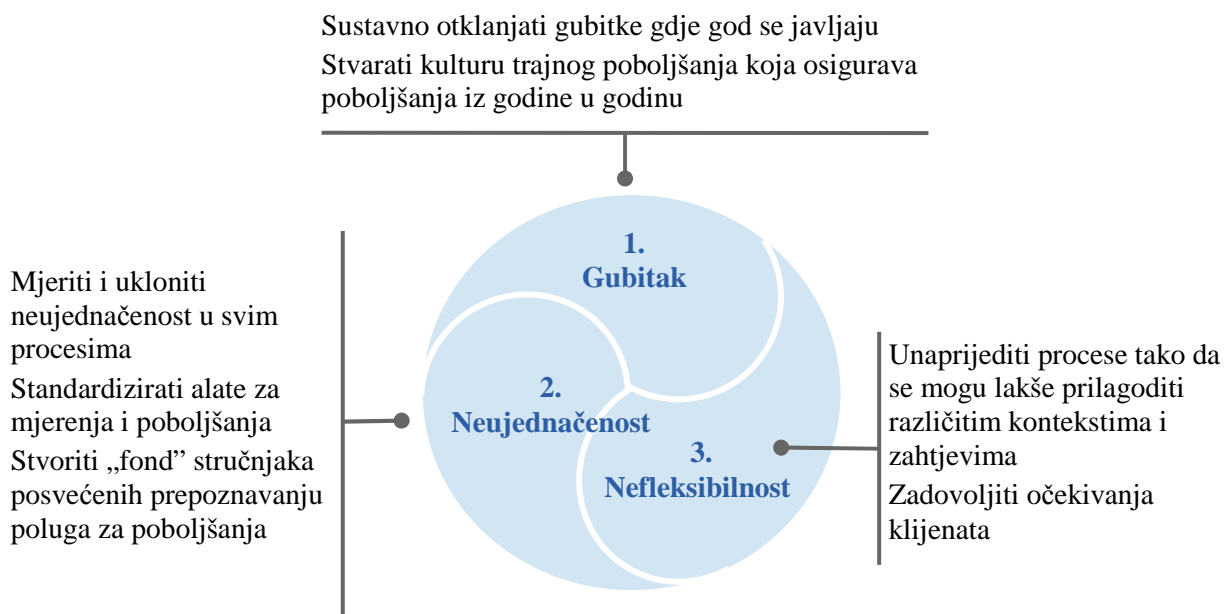
dodaju vrijednost gledano iz perspektive krajnjih kupaca. Preduvjet za uspješnu primjenu Vitke proizvodnje su potpora vrhovnog menadžmenta i komunikacija unutar organizacije.

Bitno je usmjeriti sve aktivnosti i napore u izvršenje zajedničkog zadatka, koji mora biti postignut bliskom integracijom i koordinacijom svih aktivnosti. [6]

Ukratko možemo reći da su ključni ciljevi vitkog pristupa:

- smanjiti gubitke
- smanjiti neujednačenosti
- smanjiti nefleksibilnost

Slika 2-1 prikazuje neke tipične aktivnosti i zadatke koji imaju za cilj uklanjanje izvora neučinkovitosti procesa, što i čini primarni fokus Vitkog menadžmenta. Primjenom takvog načina razmišljanja i djelovanja moguće je minimizirati rasipanja, to jest minimizirati ili po mogućnosti u potpunosti ukloniti procese koji ne daju dodanu vrijednost.



**Slika 2-1 Vitki pristup optimiranju**

Naglašavajući jednostavne koncepte poput uklanjanju gubitaka (otpada), vizualne kontrole i timskog rada primjena Vitkog menadžmenta olakšava zaposlenicima njihov posao – on uklanja dijelove procesa koji nemaju dodanu vrijednost (vrijeme čekanja, nepotrebne korake procesa, ponovno prerađivanje, dupliciranje aktivnosti, vrijeme utrošeno na traženja materijala ili dijelova itd.) i tako omogućava zaposlenicima više vremena da se fokusiraju na njihove osnovne odgovornosti i prioritete.

Vitki menadžment djeluje na način da se zaposlenici angažiraju u unapređenju procesa fokusirajući se na metriku izvedbe naglašavajući praktične akcije i iznad svega uklanjajući aktivnosti koje nemaju dodanu vrijednost ili gubitke (otpad) procesa kad god je to moguće. Ovi gubici uključuju izgubljeno vrijeme, izgubljene resurse i nepotrebnu kompleksnost.[7]

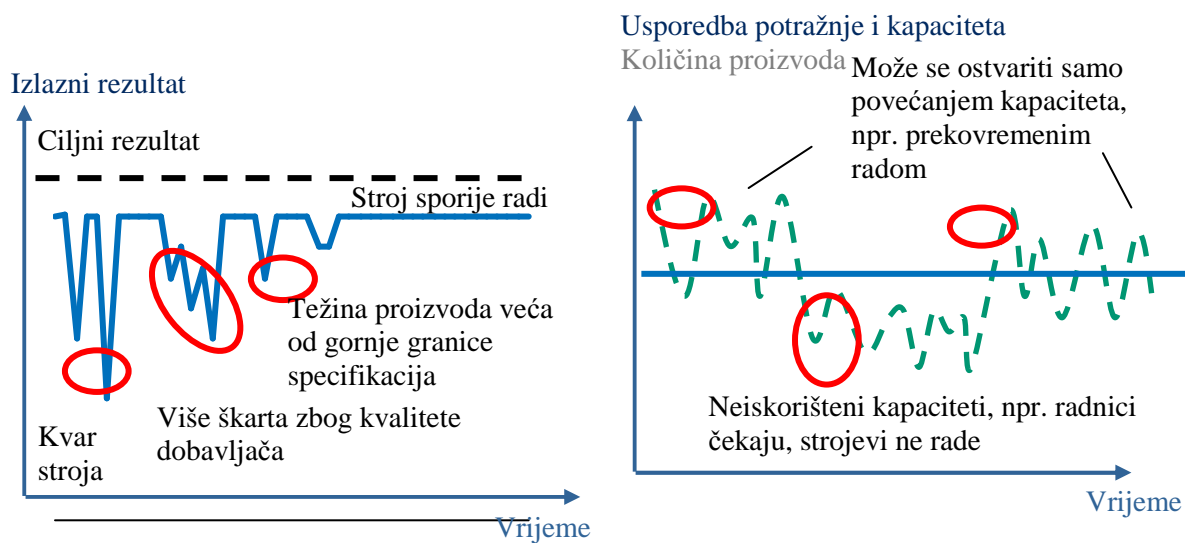
Slika 2-2 prikazuje 8 vrsta gubitaka koji se javljaju u procesima.



**Slika 2-2 8 vrsta gubitaka**

Osim gubitaka u procesima se javlja problem nejednačenosti i nefleksibilnosti, čiji su "izvori" prikazani na Slika 2-3





Slika 2-3 Izvori neujednačenosti i nefleksibilnosti

Slika 2-4 prikazuje tipične izvore gubitaka.

**Čekanje** znači situacije kada ljudi ili sustavi čekaju da završi prethodni ciklus rada



**Prijevoz** znači nepotrebno kretanje osoba ili proizvoda



**Prekomjerna obrada** znači da se isporučuje više nego što klijent zahtijeva i želi



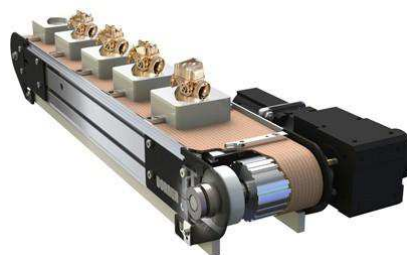
**Zalihe** su materijali, proizvodi u sklopu rada ili gotovi proizvodi koji ne prolaze dodatnu obradu radi povećanja vrijednosti



**Prerada** je ponavljanje ili ispravljanje procesa. Greške predstavljaju gubitak vremena i drugih resursa



**Kretanje** je prekomjerni trud uložen u izvršavanje aktivnosti dodane vrijednosti



**Prekomjerna proizvodnja** znači da se proizvodi više nego što to klijent u određenom trenutku traži



**Intelektualni gubici** znače da zadatke izvršavaju osobe koje su previše stručne za poslove koje obavljaju



**Slika 2-4 Izvori gubitaka**

## 2.2. Šest Sigma

Metodologija Šest Sigma je poslovna filozofija i inicijativa koja omogućava ostvarenje kvalitete na razini svjetske klase, te implementaciju sustava kontinuiranog poboljšavanja s ciljem ostvarenja najvišeg nivoa zadovoljenja potreba kupaca. Uspostavlja sustav mjerenja (praćenja) kako bi se uskladili strateški ciljevi i vrijednosti organizacije s potrebama i očekivanjima kupaca.

Sigma ( $\sigma$ ) općenito predstavlja statistički pojam koji označava mjeru raspršenosti podataka u skupu, to jest prosječno odstupanje vrijednosti numeričke varijable od njezine aritmetičke sredine. U poslovnom smislu, vrijednost Sigma je jedinica mjere koja predstavlja sposobnost procesa i vjerojatnost da se pojavi nesukladnost (greška). Što je viša vrijednost Sige, manje je varijacija i manje će nesukladnosti biti u procesu. Šest Sigma predstavlja novi standard izvrsnosti sa samo 3,4 nesukladnosti na milijun mogućnosti (*eng. DPMO – defects per million opportunities*).

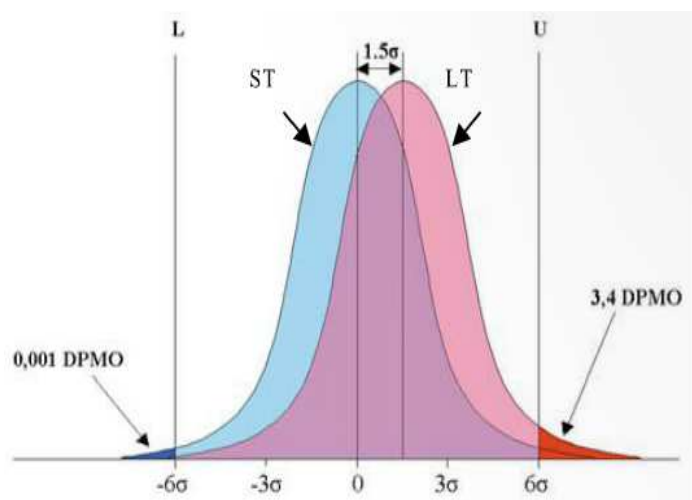
Metodologija Šest Sigma koristi se podacima i alatima statistike kako bi se na sustavan način unaprijedio proces, te kako bi se i održale uvedene mjere poboljšanja procesa. Karakteristike procesa je potrebno kvalitetno definirati i mjeriti, kako bi se mogle evaluirati – na način da se rezultati uspoređuju u odnosu na prosjek i da se utvrde varijacije izvedbe u odnosu na traženo (specificirano) to jest ciljano.

Pojam Šest Sigma može se promatrati iz tri aspekta:

1. *Statistička mjera* izvedbe procesa ili proizvoda
2. *Cilj* koji teži "savršenom" poboljšanju izvedbe
3. *Sustav upravljanja* kako bi se ostvarilo održivo poslovno vodstvo i izvedba na razini svjetske klase

**Šest Sigma kao statistička mjera** može se opisati kao 99,9996% uspješnost, na dugotrajnoj osnovi (pomak procesa od  $1,5\sigma$ ), što je ekvivalent pojavi 3,4 nesukladnosti na milijun mogućnosti, gdje nesukladnost može označavati bilo što čija je veličina van granica zahtjeva, npr. vrijeme isporuke nekog proizvoda.

U tumačenju podataka od 3,4 greške na milijun mogućnosti pretpostavlja se (iskustveno) pomak procesa od  $1,5\sigma$ , kao što je prikazano na slici 2-5. Pomak od  $1,5\sigma$  uveden je od Motorole temeljem rezultata dugotrajnog praćenja njihovih procesa. Oni su za svoje procese utvrdili da se u dugom vremenskom razdoblju pomiču od svoje sredine za najviše  $1,5\sigma$ . [8]



L – donja granica zahtjeva,

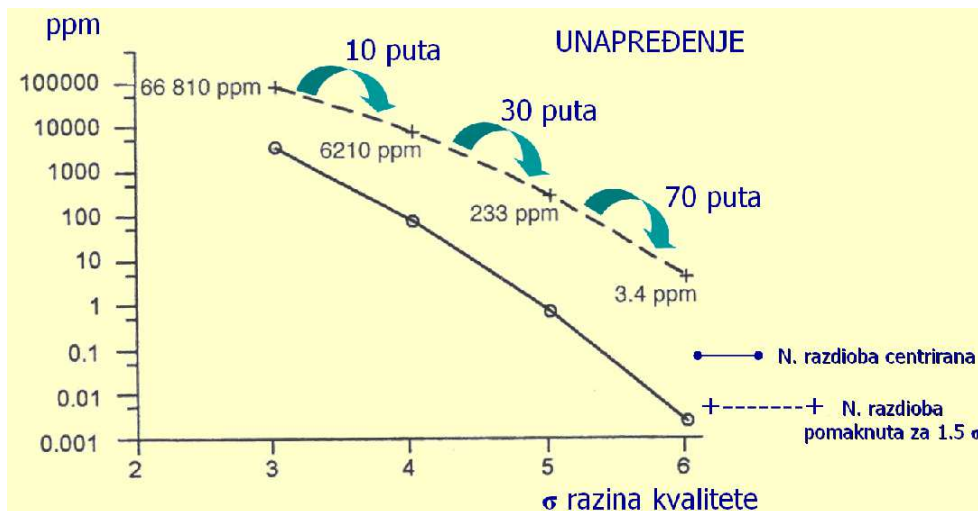
U – gornja granica zahtjeva,

ST – varijabilnost u kratkom vremenskom razdoblju (eng. short term),

LT – varijabilnost u dugom vremenskom razdoblju (eng. long term)

**Slika 2-5 Učinak pomaka procesa od  $1,5\sigma$  koji rezultira s 3,4 DPMO**

Slika 2-6 prikazuje relacije između stope nesukladnosti i  $\sigma$  razine kvalitete. Također je prikazan i odnos između Šest Sigme za centriranu normalnu razdiobu i za normalnu razdiobu pomaknutom za  $1,5 \sigma$ .



Slika 2-6 Stopa nesukladnosti i  $\sigma$  razina kvalitete [9]

**Šest Sigma kao cilj** označava tendenciju izbjegavanja nesukladnosti koje uzrokuju materijalni trošak i nezadovoljstvo kupca. Kako je danas u poslovnom svijetu kupac taj oko koga se sve okreće, bitno je naglasiti da se putem mjerenja sigme na određenom procesu prati koliko dobro su ispunjeni zahtjevi i očekivanja kupaca. Prije svega potrebno je jasno definirati (prepoznati) što kupac očekuje – što se u Šest Sigmi označava kao CTQ (*eng. Critical To Quality*) – kritično za kvalitetu. Jedan od tipičnih parametara kritičnih za ukupnu kvalitetu (CTQ) je npr. isporuka proizvoda na vrijeme.

Što je veći broj nesukladnosti, ne samo da se povećava trošak za ispravljanje tih nesukladnosti, već se povećava i rizik da se izgubi kupac. Kolika je važnost zadovoljstva kupca govore i sljedeće četiri činjenice [9]:

- nezadovoljan kupac će obavijestiti devetero do desetero ljudi o lošem iskustvu, čak i više ukoliko problem nije ozbiljan
- isti kupac će reći samo petorici da je problem uspješno riješen
- 31% kupaca koji iskuse probleme s uslugama, neće ih prijaviti zato što je "previše komplicirano" ili zato što vjeruju da nikoga nije briga (problem je što nema povratne veze)
- od tih 31%, tek 9% će htjeti koristiti usluge tog poduzeća

**Šest Sigma kao sustav upravljanja** podrazumijeva da se prenese odgovornost za procese na sve zaposlenike u Šest Sigma poduzeću, a ne samo na viši i srednji menadžment. Većina ideja, rješenja, unapređenja procesa započinju na prvim linijama organizacije i zato je bitno da svi nivoi zaposlenika budu uključeni.

Šest sigma organizaciju karakteriziraju sljedeća obilježja [10]:

- fokusiranje na kupca. Šest Sigma unaprjeđenja su definirana sa njihovim utjecajem na vrijednost i zadovoljstvo kupca
- vodstvo vođeno faktima i podacima. Poslovne odluke moraju biti podržane stvarnim podacima i mjerenjima, a ne donošene na bazi predrasuda, mišljenja i pretpostavkama
- procesi su ključ uspjeha. Ovladavanje procesima je put ka povećanju kompetitivne prednosti u pružanju vrijednosti kupcu.
- Proaktivno vodstvo poduzeća. Definiranje ambicioznih ciljeva uz redovite provjere, postavljanje jasnih prioriteta, fokusiranje na prevenciju problema i konstantno preispitivanje procesa (ne uzimati ih zdravo za gotovo)
- Bezgranična suradnja. Ukloniti barijere između odjela i timova. Iskoristiti suradnju i komunikaciju između poduzeća, dobavljača i kupaca.
- Tolerancija neuspjeha. Prilikom uvođenja novih ideja uvijek postoji određena doza rizika, no bez novih ideja nemoguće je postići Šest sigma. Potrebno je ohrabrivati i motivirati sve zaposlenike da predlažu nove ideje.

### 2.2.1. Šest Sigma metodologija

Kod provođenja Šest Sigme postoje dvije cikličke metode koje tvore metodologiju 6 sigma:

- DMAIC (eng. *Define Measure Analyse, Improve & Control*)– Definiraj, Mjeri, Analiziraj, Poboljšaj & Kontroliraj) prikazano na slici 2-7
- DMADV (eng. *Define, Measure, Analyse, Design & Validate*) - Definiraj, Mjeri, Analiziraj, Dizajniraj i Verificiraj),



Slika 2-7 DMAIC – Define, measure, analyse, improve & control

DMAIC možemo definirati kao pristup rješavanju problema u pet osnovnih koraka – definiraj (**Define**), izmjeri (**Measure**), analiziraj (**Analyse**), poboljšaj (**Improve**) i kontroliraj (**Control**).

Ova metodologija je originalno definirana 1980ih od strane kompanije Motorola, kao sastavnog dijela Šest Sigma filozofije, a u današnje vrijeme se najčešće koristi kao alat za unapređenje postojećih procesa.

Prvi korak: **D-define** – definiranje problema ili prilike za poboljšanje. Ovaj korak određuje opseg (granice) projekta, potrebne resurse, vremenske rokove (pojedinih faza projekta), očekivani cilj i cost-benefit analizu. Bitno je da se problem definira sa stajališta korisnika pojedinih procesa a ne samih vlasnika procesa

Drugi korak: **M-measure** – mjerenje performansi projekta. Prikupljanje svih relevantnih podataka koji definiraju postojeći proces. Mjerenja su neophodna kako bi se kasnije mogli utvrditi budući konkretni efekti na predmetni proces. Mjerenje definiranih parametara mora biti prema točno određenom protokolu usuglašenom od svih uključenih u proces

Treći korak: **A-analyze** – analiza podataka prikupljenih u koraku mjerenje, u svrhu definiranja osnovnih uzroka problema. Definira se AS-IS stanje procesa. Ovaj korak mora utvrditi slabe strane procesa, tj identificirati uzroke prethodno definiranih problema. Bitno je dati odgovor (procijeniti) da li je predmetni proces moguće poboljšati (kao dio KAIZEN filozofije - kontinuirano poboljšanje) ili ga je potrebno temeljito redizajnirati (reinženjering – radikalniji pristup).

Četvrti korak: **I-improve** – poboljšanje procesa. Uobičajeno se prethodno izvrši modeliranje i zatim simulacija procesa, te slijedi implementacija rješenja u stvarnom okruženju, u skladu s predefiniranim (odabranim) TO-BE stanjem procesa. Uključuje provedbu aktivnosti za poboljšanje odabranih procesa kao i izračun financijskih benefita i troškova istih.

Peti korak – **C-control** – kontrola poboljšanja procesa. Kontrolira se implementacija rješenja te nadgleda nove performanse procesa i njegovo funkcioniranje nakon uvođenja novog rješenja. Bitno je osvrnuti se na reagiranje procesa ali i sudionika u procesu, te izvršiti sve potrebne aktivnosti prilagodbe kako bi osigurali održivost novo implementiranih rješenja u modificiranom procesu. Kontrola se vrši u dužem vremenskom periodu da se vidi održivost implementiranih poboljšanja kao i prijenos odgovornosti na vlasnike procesa s točno definiranim parametrima kontrole i planom aktivnosti u slučaju odstupanja

U tablici 1 prikazan je sustav definiranja ciljeva, aktivnosti i alata po pojedinim fazama DMAIC metodologije.

**Tablica 1. Definiranje ciljeva, aktivnosti i alata po fazama DMAIC metodologije**

<b>DMAIC faza</b>	<b>Svrha / Cilj</b>	<b>Važnije aktivnosti</b>	<b>Alati</b>
Define / Definirati	Jasno definirati: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ problem i cilj</li> <li>▪ uloge i odgovornosti</li> <li>▪ opseg projekta</li> <li>▪ ograničenja (resursi)</li> <li>▪ vremenski okvir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pregled postojeće dokumentacije procesa</li> <li>▪ utvrditi odstupanja stvarnog učinka od očekivanog</li> <li>▪ izrada dijagrama toka procesa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ "voice of the Customer" analiza</li> <li>▪ SIPOC prikaz (Suppliers-Inputs-Process-Output-Customes)</li> </ul>
Measure / Izmjeriti	Prikupiti podatke koji opisuju proces.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izrada analize troškova</li> <li>▪ prikupljanje podataka bitnih za proces i po potrebi uvesti dodatna mjerenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dijagram toka ("AS-IS")</li> <li>▪ Pareto analiza</li> <li>▪ Plan prikupljanja podataka</li> </ul>
Analyze / Analizirati	Identificirati i verificirati "korijenski uzrok" problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analiza prikupljenih podataka u svrhu identifikacije uzroka i utvrđivanje njihovog utjecaja na performanse procesa</li> <li>▪ Analiza uzrok/efekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dijagram Riblja kost</li> <li>▪ Pareto dijagram</li> <li>▪ Dijagram rasipanja</li> </ul>
Improve / Poboljšati	Izraditi i implementirati održivo rješenje (prihvatljivo svim zainteresiranim stranama u procesu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izraditi i testirati potencijalna rješenja</li> <li>▪ odabrati najpovoljnije izvedivo rješenje</li> <li>▪ iskomunicirati odabrano rješenje sa zainteresiranim stranama</li> <li>▪ implementirati rješenje procesa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ brainstorming</li> <li>▪ Benchmarking</li> <li>▪ Analiza "trošak / korist"</li> <li>▪ simulacije</li> </ul>
Control / Kontrolirati	Kontrolirati (održivost) performansi novo implementiranog procesa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izraditi SOP (standardne operativne procedure)</li> <li>▪ edukacija zaposlenika uključenih u proces</li> </ul>	Kalkulacija ušteda



Općenito možemo reći da DMAIC metodu koristimo kako bi se unaprijedio postojeći proces, uz eliminaciju takozvane negativne kvalitete, dok DMADV koristimo za kreiranje novih procesa ili značajnu izmjenu postojećih procesa koje generiraju takozvanu pozitivnu kvalitetu. DMADV je poznat još kao i DFSS (*eng. Design for Six Sigma*) – Projektiran za Šest sigmu

U tablici 2. prikazani su nivoi unapređenja procesa i metode podrške koje se pri tome koriste.

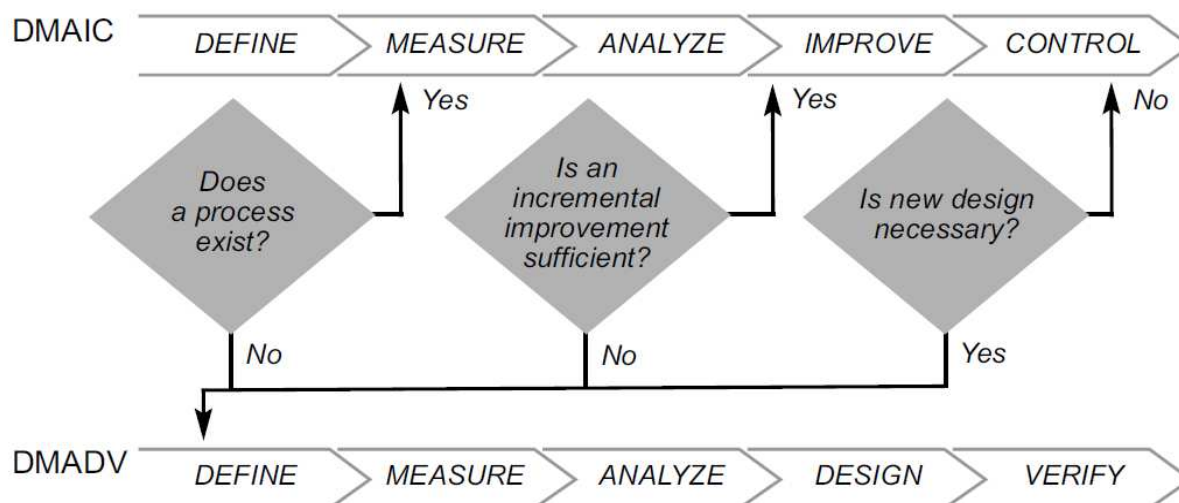
**Tablica 2. Nivoi inovacije – metodološka podrška [13]**

Nivo Inovacije	Područje primjene	Metoda
1	Optimizacija procesa	DMAIC: Eliminacija negativne kvalitete
2	Razvijanje novog proizvoda baziranog na postojećem procesu	DMADV: generiranje pozitivne kvalitete
3	Razvijanje novog procesa za poboljšanje postojećeg proizvoda	
4	Razvijanje novog proizvoda i novog procesa	
5	Bazično istraživanje	

Pristup Vitke Šest Sigme poznat još i pod imenom DFSS<sup>+Lean</sup> (*eng. Design For Six Sigma + Lean*) obuhvaća četiri ključna elementa:

- Iterativni ciklički pristup optimiranju procesa DMAIC – Definiraj, Mjeri, Analiziraj, Poboljšaj & kontroliraj
- Proceduralni model za razvijanje procesa i/ili proizvoda DMADV (ili DFSS – Design for Six Sigma)
- Lean alati koji se koriste u gore navedenim pristupima
- Proces management za osiguravanje održivosti

Na slici 2-8 je prikazana logika korištenja metodologija DMAIC i DMADV.



Slika 2-8 Korištenje metodologija DMAIC & DMADV [13]

### 2.3. Vitka Šest Sigma

Vitka Šest Sigma označava poslovni pristup koji je temeljen na podizanju stupnja kvalitete, smanjenje varijacija u procesu i uklanjanju svih postojećih gubitaka kako u poslovanju tako i u samoj poslovnoj organizaciji. Koncept Vitka Šest Sigma nastao je kao kombinacija principa i alata Vitkog menadžmenta i Šest Sigme s ciljem sinergijskog učinka gdje se integriraju sve prednosti Šest Sigme i Vitkog menadžmenta, odnosno s ciljem da se eliminiraju nedostaci koji se javljaju kada se svaki od tih sustava integrira zasebno.

Dakle, vitke organizacije bi trebale uzimati u obzir više pokazatelja prilikom odlučivanja i više koristiti metodologije koje naglašavaju znanstveni pristup kvaliteti. S druge pak strane, organizacije koje primjenjuju Šest Sigma sustav, trebale bi primjenjivati neke metode Vitkog menadžmenta koje se odnose na eliminiranje gubitaka, kao što su Kaizen, praćenje tokova materijala kroz proces proizvodnje s aspekta kupca, „pet S“ i slično.

Ukratko metodologija Vitka Šest Sigma predstavlja:

- disciplinirani pristup rješavanju problema,
- promjenu načina razmišljanja,
- ubrzavaju realizaciju već postojećih ideja,
- uvode standardne metode u praksu
- donose mjerljive rezultate.

Različitim oblicima izobrazbe, osiguravanjem vremena za te aktivnosti, jasno postavljenim ciljevima i uz podršku menadžmenta poboljšavaju se procesi u kompaniji i ostvaruju konkretni rezultati. [11]

U tablici 3. prikazana je usporedba osnovnih karakteristika metodologija Vitkog menadžmenta i Šest Sigme.

**Tablica 3. Usporedba Vitkog menadžmenta i Šest Sigme**

	<b>Vitki menadžment</b>	<b>Šest Sigma</b>
<b>Cilj – što</b>	Stvoriti najviše vrijednosti uz minimalnu potrošnju resursa	Smanjiti varijabilnost i greške (bilo koje rezultat koji je iz perspektive kupca nepoželjan)
<b>Cilj – kako</b>	Razumjeti tijek procesa i eliminirati gubitke	Poboljšati sposobnost procesa i eliminirati/minimizirati varijacije
<b>Primjena</b>	Primarno procesi visokih volumena	Bilo koji poslovni proces
<b>Pristup</b>	Osnovni principi i "prema kuharici". Implementacija bazirana na najboljoj praksi	Pristup rješavanja problema ( <i>eng. problem solving</i> ) oslanjajući se na statističke alate
<b>Metodologija</b>	Bazirano prema Demingovom načelu PDCA ( <i>eng. Plan-Do-Check-Act</i> ) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planiraj</li> <li>- Izvrši</li> <li>- Provjeri</li> <li>- Djeluj</li> </ul>	Bazirano na DMAIC ( <i>eng. Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i> ) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definiraj</li> <li>- Izmjeri</li> <li>- Analiziraj</li> <li>- Poboljšaj</li> <li>- Kontroliraj</li> </ul>
<b>Odabir projekata</b>	Inicirani od lokalnog rukovoditelja	Gap analize
<b>Trajanje projekata</b>	1 tjedan do 2 mjeseca	2 do 6 mjeseci
<b>Alati &amp; tehnike</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VSM (<i>eng. Value stream map</i>)</li> <li>- Mapiranje vrijednosti procesa</li> <li>- Eliminacija gubitaka</li> <li>- Dijagram toka "od-do"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SIPOC mapiranje (<i>eng. Supplier-Input-Process-Output-Customer</i>)</li> <li>- dobavljač-ulaz-izlaz-kupac</li> <li>- Mjerne analize (statističko</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A3 format za praćenje projekata</li> <li>- Hipoteze, eksperimenti i izrada protumjera</li> <li>- 5S – vizualizacija</li> <li>- 5 zašto</li> <li>- Analitičke tehnike slične 6σ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>uzorkovanje, kontrolne karte, histogram)</li> <li>- FMEA (<i>eng. Failure mode and effects analysis</i>) otkazivanje i analiza učinka</li> <li>- Regresijska analiza</li> </ul>
<b>Projektni timovi</b>	Oformljeni prema potrebi. Uključuju zaposlenike i rukovoditelje. Uporaba metode "idi i vidi" da se utvrde/prepoznaju gubici ili uska grla.	Crni pojas vodi tim. Tim je definiran sa dokumentom Project charter, gdje su definirani sudionici projekta i njihove uloge
<b>Zaposlenici</b>	Djeluju kao članovi tima i individualno u identificiranju gubitaka i traženju unapređenja. Vizualizacija standardnih operativnih procedura.	Postaju članovi projektnog tima
<b>Trening uloge</b>	Menadžeri i rukovoditelji su treneri članova tima i njihovih zaposlenika	Vodeći crni pojas je trener menadžerima, a Crni pojas trenira članove svojega tima. Zeleni pojasevi su članovi tima

Postoje pet osnovnih zakona Vitke Šest Sigme koji opisuju osnovne principe prilikom odabira projekata i uvođenja unaprjeđenja: [12]

1. **Zakon tržišta.** Kupac je taj koji definira kvalitetu, a koja ima najviši prioritet za unaprjeđenje.
2. **Zakon fleksibilnosti.** Brzina bilo kojeg procesa je proporcionalna njegovoj fleksibilnosti. Da bi se ostvarila zadovoljavajuća brzina potrebno je ukloniti sve što uzrokuje smanjenja produktivnosti; npr. u proizvodnji nefleksibilnost se očituje u dugotrajnom podešavanju strojeva prilikom zamjene vrste proizvoda
3. **Zakon fokusiranja.** Podaci pokazuju da 20% aktivnosti u procesu uzrokuje 80% problema ili zastoja. Znači da bi se postiglo poboljšanje potrebno je fokusirati se na tih 20% aktivnosti.
4. **Zakon brzine (Littleov zakon)** – Brzina bilo kojeg procesa je obrnuto proporcionalna količini aktivnosti koji su službeno dio procesa a još nisu završene –WIP (*eng. Work In Process*). (npr. količina dijelova koje je potrebno ugraditi). Kako bismo ubrzali procese potrebno je smanjiti dužinu trajanja aktivnosti unutar procesa
5. **Zakon složenosti i troška.** Složenost proizvoda uzrokuje veće troškove i veći WIP nego loša kvaliteta (mala Sigma) ili mala brzina. Stoga je potrebno smanjiti broj varijacija proizvoda.

U tablici 4. dat je pregled metoda Vitkog menadžmenta i Šest Sigme s primjerima primjene.

**Tablica 4. Pregled Vitki menadžment i Šest Sigma metoda i primjeri primjene**

	<b>Cilj i predmet poboljšanja</b>	<b>Primjer</b>
Standardizirani rad	Dokumentirati najbolji način kako izvršiti zadatak/operaciju na efikasan i efektivan način.	Procesna dokumentacija načinjena po principu Korak-po-korak, uz vizualizaciju pojedinih aktivnosti.
5S (ili 5S+Sigurnost)	Poboljšati organizaciju, čistoću, sigurnost i efikasnost područja rada.	Organizacija materijala u skladištu ili organizacija radnog stola
Vitki događaj (npr., Kaizen događaj)	Eliminirati neefikasnost i aktivnosti koje nemaju dodanu vrijednost (otpad) na ponavljajućim procesima u kratkom vremenskom periodu	Reduciranje vremena odziva na pozive pružanja usluge servisa; poboljšati aktivnosti na izdavanju računa
Cjelovito učinkovito održavanje (eng. <i>Total Productive Maintenance - TPM</i> )	Integrirati praksu efikasnog održavanja kod svih zaposlenika kako bi se minimizirao broj kvarova, akcidenata i ostalih gubitaka	Operateri u pogonu otpadnih voda pregledavaju i podešavaju crpke, motore, zračne kompresore i ostalu opremu u pogonu
Šest Sigma	Eliminirati varijacije ili defekte u procesu ili upotrijebiti statističku analizu za rješavanje kompleksnih problema	Optimiziranje digestora identificirajući korijenski uzrok varijacije efluenta, optimizirati uporabu kemikalija

Kako bi poduzeća uspješno poslovala potrebno je postići dobru ravnotežu između efikasnosti i efektivnosti, gdje pod pojmom efikasnosti podrazumijevamo smanjenje troškova kojima osiguravamo kompetitivnost, dok se pod pojmom efektivnost podrazumijeva ispunjenje zahtjeva kupaca. Ugrubo rečeno potrebno je ostvariti korist za kupca uz optimalan trošak za poduzeće. Često to nije moguće ostvariti samo grubim optimiranjem procesa, već je nužno unijeti i inovacije u proces kako bi se ostvarila značajnija korist. Da bi se to ostvarilo potreban je sistematičan pristup problemu i korištenje dokazanih metoda i alata Šest Sigme i Vitkog menadžmenta.

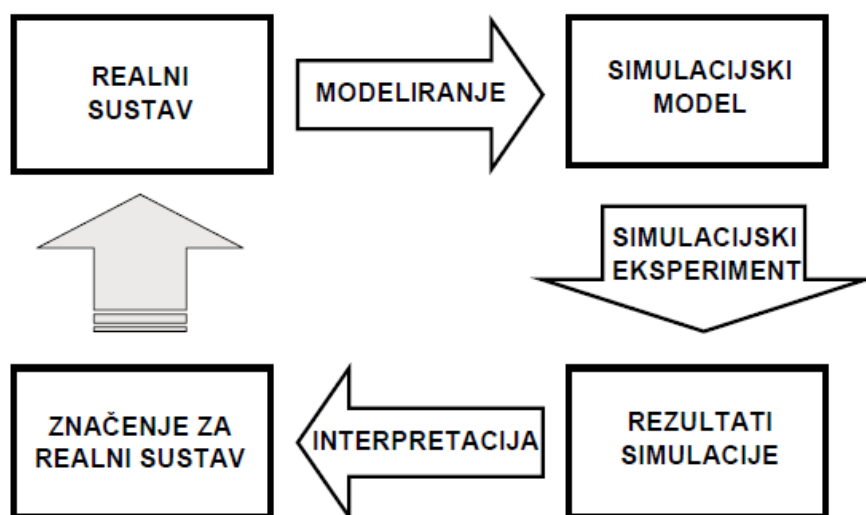
## 2.4. Modeliranje i simulacije procesa

Sastavni dio većine metodologija korištenih u svrhu optimizacije procesa sadrže i segment modeliranja i simulacije procesa, na osnovu kojih se obično vrše procjene i analize efekata budućih (potencijalnih) modifikacija na predmetnom procesu.

Pod modeliranjem se podrazumijeva izrada pojednostavljenog, približnog prikaza realnog sustava, koji predstavlja funkcionalnu cjelinu, u svrhu boljeg razumijevanja, proučavanja i mogućnosti eksperimentiranja s tim sustavom, s ciljem njegovog poboljšavanja.

Aдекватnim (validiranim i verificiranim) simulacijskim modelom poslovnog procesa omogućava se upravljanje promjenama, to jest omogućeno je predviđanje dinamike i ponašanja procesa, koje nam u konačnici treba dati odgovore na pitanja "što-ako?".

Slika 2-9 prikazuje tipične korake u simulacijskom procesu.



**Slika 2-9 Simulacijski model**

Validacijom i verifikacijom osiguravamo "dovoljnu" ispravnost modela s obzirom na svrhu i ciljeve, a ukoliko nije kvalitetno potvrđena ispravnost modela – postoji velika opasnost da budući zaključci koji proizlaze iz takvog modela, to jest simulacije budu pogrešni – što može biti vrlo opasno. Validacijom modela provjeravamo je li model ispravan u odnosu na stvarni sustav, dok verifikacijom provjeravamo je li računalni model pomoću kojeg će se realizirati simulacija ispravan u odnosu na konceptualni model.

### 2.4.1. Modeliranje sustava

Modeliranje sustava, uobičajeno, obuhvaća sljedeće postupke, to jest korake, koje omogućavaju izradu vjerodostojnog simulacijskog modela [14] :

*Identifikacija problema* – prepoznati i navesti probleme u postojećem sustavu te postaviti zahtjeve za promatrani sustav.

*Formuliranje problema* – odrediti granice sustava ili njegovog dijela koji će se promatrati. Definirati ukupni cilj razmatranja i kvantitativne kriterije na osnovi kojih će se uspoređivati i ocjenjivati različite konfiguracije sustava.

*Sakupljanje i obrada podataka iz stvarnog sustava* – prikupljanje podataka o specifikaciji sustava, ulaznim varijablama te o izvedbama postojećeg sustava. Također se treba uzeti u obzir vjerojatnost koja se odnosi na varijable i njihove raspodjele.

*Formuliranje i razvoj modela* – razvoj sheme i dijagrama tijeka sustava, tj. kako entiteti prolaze kroz sustav. Nakon toga kreira se model prilagođen simulacijskom programu.

*Validacija modela* – provjera da li izgrađeni simulacijski model uistinu odgovara realnosti. Validacija se provodi tako da se kao ulaz simuliranog modela koriste ulazne varijable iz realnog sustava za koje su poznate izlazne varijable. Nakon simulacije uspoređuju se dobiveni rezultati s onima iz realnog sustava. Ako se poklapaju tada je modelirani sustav valjan.

*Dokumentacija modela za buduću upotrebu* – kako bi olakšali ponovnu upotrebu modela za druge namjene, dokumentiraju se ciljevi razvoja simulacijskog modela, pretpostavke korištene pri izgradnji te ulazne varijable.

### 2.4.2. Simulacija diskretnih događaja

Simulacijom diskretnih događaja dobiva se najbolji opis događaja iz realnog svijeta. Ta simulacija spada pod vjerojatnosnu simulaciju kod koje se ulazni parametri mogu dobro opisati funkcijama raspodjele vjerojatnosti te na osnovi njih upotrijebiti algoritme koji generiraju slučajne vrijednosti. Simulacija diskretnih događaja predstavlja model sustava koji se mijenja u vremenu. Njegove varijable stanja se trenutno mijenjaju u odvojenim vremenskim točkama. Ti događaji mogu utjecati na stanje simuliranog sustava. Zbog mogućnosti mijenjanja dinamike stvarnog sustava ova simulacija ima jako veliku važnost.

Osnovne komponente od kojih se sastoje sve simulacije diskretnih događaja su [15]:

- 1) *Entiteti* – uzrokuju promjene u stanju simulacije. Bez njih se ništa ne bi događalo. Imaju svoje jedinstvene karakteristike, tj. attribute. Atributi su važni za razumijevanje izvedbe i funkcije entiteta u simulaciji.
- 2) *Aktivnosti i događaji* – aktivnosti su procesi i logika unutar simulacije. Događaji su uvjeti koji se pojavljuju u određenom vremenskom trenutku i uzrokuju promjene u sustavu. Događaj kreiraju entiteti u interakciji s aktivnostima. Tri su osnovne vrste aktivnosti: odgoda (*delay*), rep (red čekanja) i logika. Odgoda je aktivnost u kojoj je izvršenje entiteta odgođeno za točno određeni vremenski period. Rep je aktivnost u simulaciji u kojoj entitet mora čekati neodređeni vremenski period. Logika omogućava entitetu da utječe na stanja sustava kroz upravljanje varijablama ili logikom odlučivanja.
- 3) *Sredstva* – ona su u simulaciji sve što ima ograničenu vrijednost i kapacitet.
- 4) *Globalne varijable* – one se koriste kako bi se pratile vrijednosti svih važnih faktora u simulaciji. Ove su varijable uvijek dostupne čitavom modelu tijekom izvođenja simulacije.
- 5) *Generator slučajnih brojeva* – služi generiranju slučajnih vrijednosti između 0 i 1. Te se vrijednosti koriste prilikom kreiranja vjerojatnosnih raspodjela.
- 6) *Kalendar* – kalendar sadrži popis događaja koji se trebaju dogoditi nakon početka simulacije. Ti događaji ovise samo o vremenu a ne o uvjetima u simulaciji.
- 7) *Vrijeme* – vrijeme je varijabla koja je zajednička svim simulacijskim modelima.

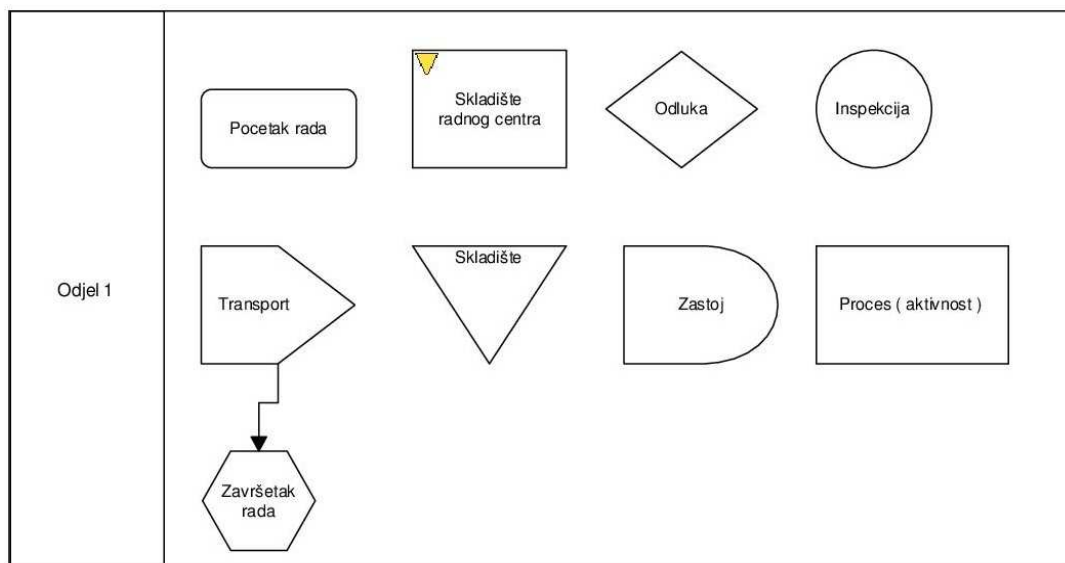


## 2.5. Programski paket SigmaFlow

Za potrebe izrade vizualizacije procesa i simulacije, korišten je programski paket SigmaFlow Modeler™. Ovaj programski paket omogućava modeliranje procesa, izvođenje simulacija i analize procesa, a također sadrži statističke i alate Vitke Šest Sigme, uz koje je moguće relativno brzo i kvalitetno modelirati procese.

Osnovna uporaba paketa SigmaFlow prilično je jednostavna, jer prati osnovnu logiku izvođenja simulacija. Proces se modelira, opisuje, kao klasičan dijagram toka u kojem se koriste standardni simboli koji predstavljaju pojedinačne entitete i aktivnosti to jest događaje. Slika 2-10 prikazuje simbole dijagrama toka u programskom paketu SigmaFlow.

U cilju određivanja, jednoznačnog definiranja, međuovisnosti pojedinih entiteta i aktivnosti u procesu, toka materijala, informacija i slično, potrebno je prije svega definirati ukupni cilj razmatranja (granice modela) i kvantitativne kriterije na osnovu kojih će se ocjenjivati različite konfiguracije sustava to jest u našem slučaju procesa.



**Slika 2-10 Simboli dijagrama toka u programskom paketu SigmaFlow Modeler TM**

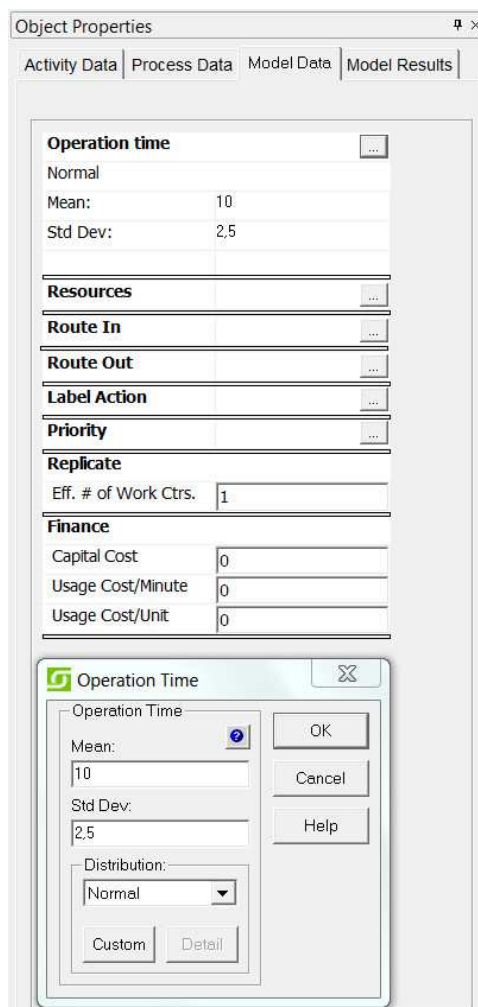
Da bi model bio kvalitetan potrebno je izvršiti i niz mjerenja ulaznih i izlaznih veličina stvarnoga procesa, a što je nužno da bi se provjerilo da li izgrađeni simulacijski model odgovara realnosti. Usporedbom rezultata simulacije procesa s realnim, izmjerenim, ulazno/izlaznim veličinama moramo utvrditi stupanj korelacije, kako bismo mogli izvršiti validaciju modela.

Simbole ( aktivnosti, skladišta, odluke...) pridružujemo određenom odjelu, povezujemo ih strelicama, te time generiramo dijagram toka.

Svakom objektu ( aktivnost, odluka...) moguće je pridružiti određena svojstva kao što su :

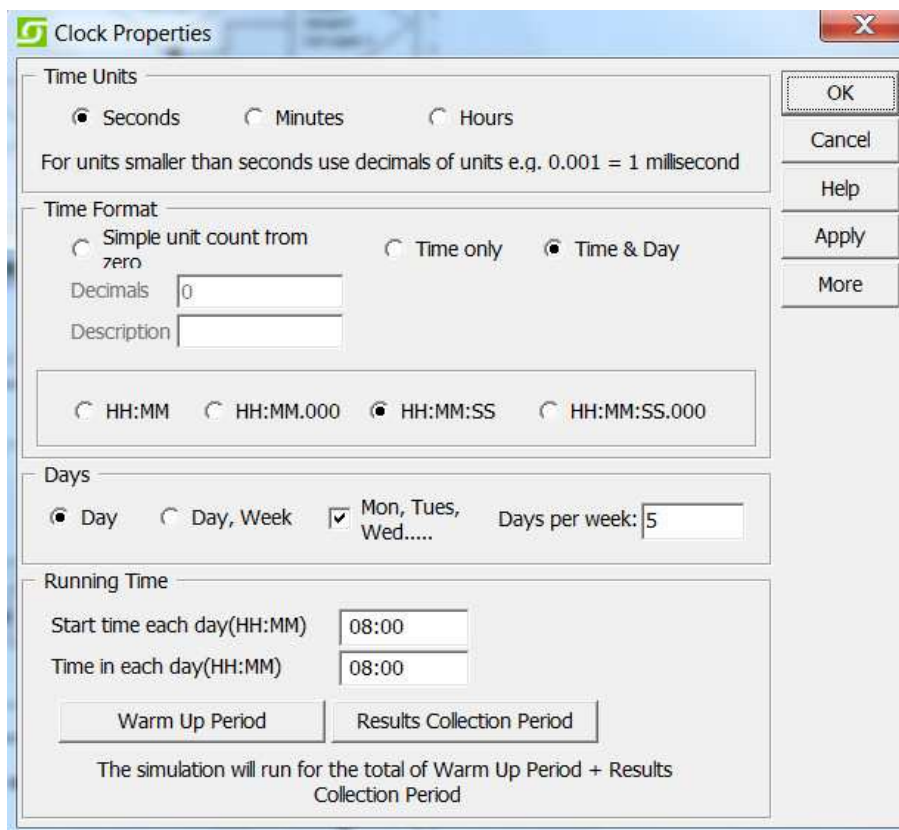
- Podaci o aktivnosti
- Procesni podaci
- Podaci modela
- Rezultati modela

Stoga, za aktivnosti moguće je odrediti vrijeme odvijanja aktivnosti (omogućene su različite distribucije vremena), trošak aktivnost po vremenu ili po obavljenom poslu itd. Za skladište moguće je odrediti kapacitet, troškove skladištenja, princip izdavanja robe (fifo ili lifo princip). Slika 2-11 prikazuje masku za definiranje svojstava pojedinog objekta.



**Slika 2-11**      **Mogućnosti određivanja svojstava objekata**

Nakon određivanja svojstava pojedinih objekata može se započeti s definiranjem svojstava simulacije kao što je sat simulacije, određivanje vremenskih jedinica, dužine simulacije, oblik vremena itd., što i prikazuje slika 2-12.



**Slika 2-12 Izgled sata simulacije**

Sljedeći korak je pokretanje simulacije.

Prilikom odvijanja simulacije moguće je pratiti prolazak materijala (ili informacija) kroz dijagram toka, količine koje ulaze i izlaze iz procesa, trenutno stanje skladišta itd. Bojom procesa se određuje trenutno stanje procesa na sljedeći način: zelena boja znači da je proces aktivan, crvena boja označava da proces čeka ulazak materijala/informacije dok narančasta boje znači da je proces blokiran.

Nakon završetka simulacije moguće je generirati detaljan izvještaj o rezultatima simulacije, te izvještaj eksportirati u Excel format na daljnju obradu.

Softver Sigmaflow modeler pokazao se kao pogodan alat za vizualizaciju procesa upotrebljavajući dijagrame toka, te za simuliranje postojećeg i budućeg stanja, međutim, primarno je namijenjen za simulacije procesa u administraciji i uslužnih procesa, stoga, prilično je ograničen u slučajevima simulacija proizvodnih procesa.

Programski paket SigmaFlow Modeler<sup>TM</sup> pokazao se u našem konkretnom slučaju, kao pogodan alat za vizualizaciju procesa, no njegova prvenstvena namjena je za obradu procesa u administraciji, logistici i uslužnim procesima.

Kako u predmetnom proizvodnom procesu nema klasičnih problema kao što su uska grla, redovi čekanja, zalihe, problemi nepotrebnih kretanja i transporta, to jest fizičke konfiguracije distributivnih mreža, već samo specifični materijalni gubici, nije bilo prilike iskoristiti sve mogućnosti koje pruža programski paket SigmaFlow.

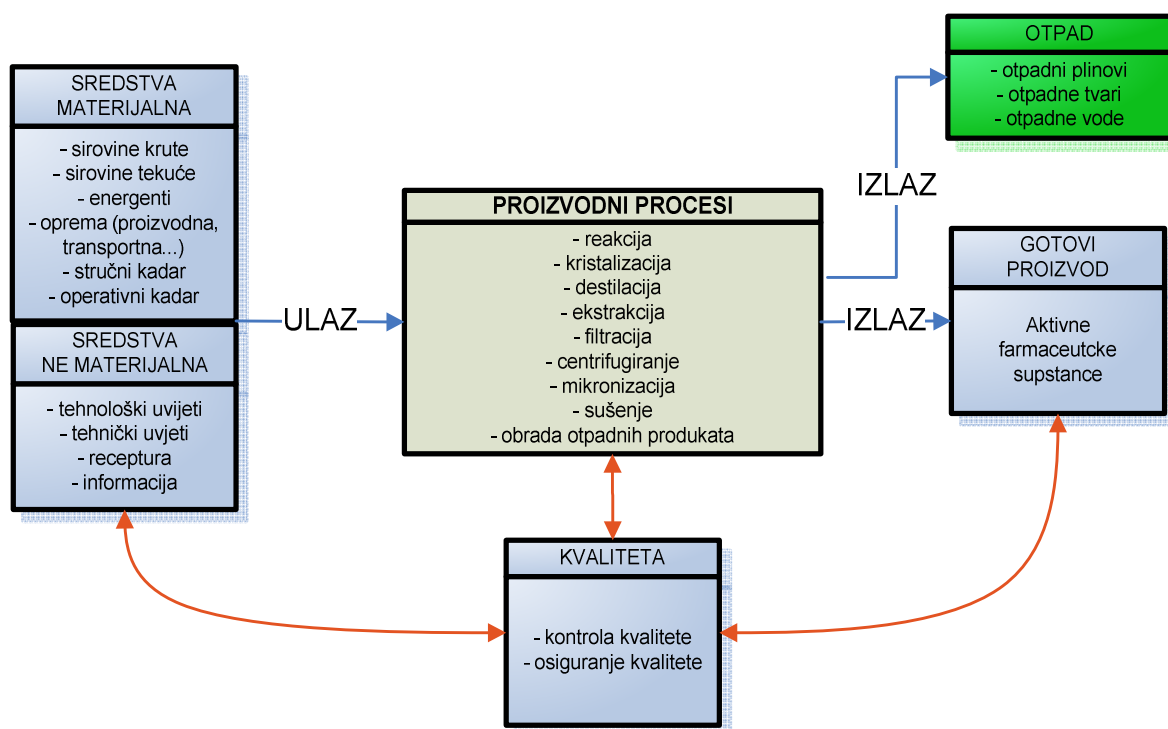
### 3. Procesi u farmaceutskoj proizvodnji

#### 3.1. Osnovni procesi – proizvodnja API<sup>1</sup>

Tip procesa koji najbolje opisuje farmaceutsku proizvodnju je Kontinuirana proizvodnja, za koju je karakteristično:

- visoki volumeni proizvodnje
- visoko standardizirani izlazni proizvod
- nema varijacija na izlaznom proizvodu
- potrebne vještine radnika su od niže do visoke razine
- vrlo visoki troškovi zastoja
- visoki troškovi po jedinici proizvoda
- oprema je većinom specijalne namjene
- procjena troškova – rutinska

Za većinu slučajeva možemo reći da su osnovni procesi u farmaceutskoj industriji: razvoj, proizvodnja i prodaja lijekova i farmaceutskih proizvoda. Na Slika 3-1 shematski je prikazana tipična proizvodnja farmaceutskih proizvoda.



**Slika 3-1 Shematski prikaz proizvodnje aktivne farmaceutke supstance**

<sup>1</sup> API – eng. Active Pharmaceutical Ingredient (Aktivna farmaceutska tvar)

### 3.2. Procesi podrške - Opskrba (toplinskom) energijom

Osnovnom procesu – proizvodnji aktivnih farmaceutskih tvari, nužni su i procesi potpore. Za funkcionalnost proizvodnih procesa neophodni su procesi energetske sustava. Kao primjer tipičnih potpornih procesa možemo navesti:

- distribucija pitke vode
- proizvodnja i distribucija farmaceutskih voda
- proizvodnja i distribucija industrijske i "čiste" pare
- distribucija električne energije
- proizvodnja rashladne energije

Svi energetske sustavi su u pravilu visoko automatizirani, te je većina njih praćena putem centralizirano nadzorno upravljačkog sustava.

U fokusu ovoga rada bit će sustavi to jest procesi proizvodnje topline energije, koji započinju s proizvodnjom i distribucijom pitke vode, zatim pripreme kotlovske vode i naposljetku proizvodnja i distribucije industrijske pare, te povrat kondenzata nakon potrošača.

#### 3.2.1. Obrada i distribucija pitke vode

Za potrebe proizvodnje industrijske suhozasićene pare, kao osnovna sirovina potrebna je voda, koja mora imati kvalitete vode za piće, tj. mora biti sukladna uvjetima propisanim "Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (N.N. 47/08).

Kako je u praksi dosta čest slučaj da se voda za potrebe proizvodnje pare crpi direktno iz bunara, tu je vodu potrebno nakon crpljenja tretirati dezinficijensom.

Prema preporuci svjetske zdravstvene organizacije klor koji je bio jedno od najraširenijih sredstava za dezinfekciju - više nije preporučljiv i treba ga zamjenjivati nekim drugim sredstvima koja su isto tako ili i djelotvornija kada je u pitanju dezinfekcija. Jedno od alternativa kloru i sredstvo koje se sve više primjenjuje kod dezinfekcije pitke vode je klor dioksid. Tablica 5 prikazuje usporedbu djelovanja klora i klor dioksida kod dezinfekcije vode.

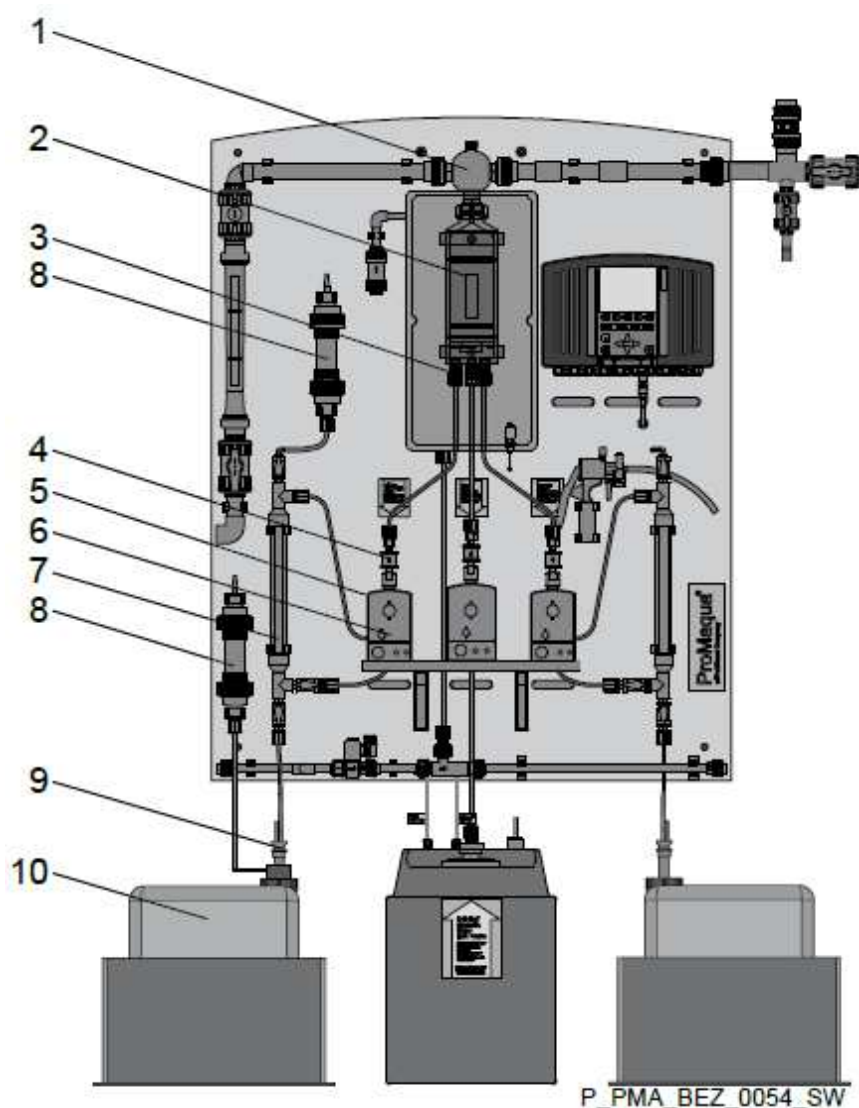
U tablici 5. prikazana je usporedba dva najčešća načina dezinfekcije vode.

**Tablica 5. Usporedba sustava dezinfekcije Cl vs. ClO<sub>2</sub>**

	<b>KLOR (Cl)</b>	<b>KLOR DIOKSID (ClO<sub>2</sub>)</b>
pH - 7,5	Djelotvornost 50%	Djelotvornost 100%
pH - 8,5	Djelotvornost 5%	Djelotvornost 100%
Amonijak	Kloroamini - tipičan miris - iritiranje sluznice - povećana potrošnja klora	Ne reagira s amonijakom otopljenim u vodi, - nema mirisa, - nema povećane potrošnje ClO <sub>2</sub>
Fenoli	Klorofenoli - "bolnički" miris pitke vode - povećana potrošnja Cl	Ne reagira na fenole. Utječe na razgradnju klorofenola već stvorenih u vodi
Sadržaj huminskih tvari i iona broma i joda	- trihalogenmetani odnosno trihalometani ( THM) - najpoznatiji kancerogeni kloroform triklormetan CHCl <sub>3</sub> - THM na bazi broma nastaje reakcijom Cl na bromide u vodi	Nema pojave THM a istraživanja pokazuju da klor dioksid djeluje na razbijanje THM nastalih djelovanjem klora
Riječne i jezerske vode sa "močvarnim" mirisom i prisutnost algi	- Cl ne djeluje	Sprječava razvoj algi, larvi, obrastanje pješčanih filtera
Stabilnost u vodi rezidual	- nekoliko sati	Mjerenjem utvrđeno 17 dan teoretski 21 dan - ovisi o sastavu vode, cjevovodima...

Prije distribucije iscrpljena (sirova) bunarska voda se dezinficira pomoću uređaja putem kojeg se dozira klor dioksid, u pravilu, u granicama od 0,2 do 0,4 mg/ l slobodnog klora .

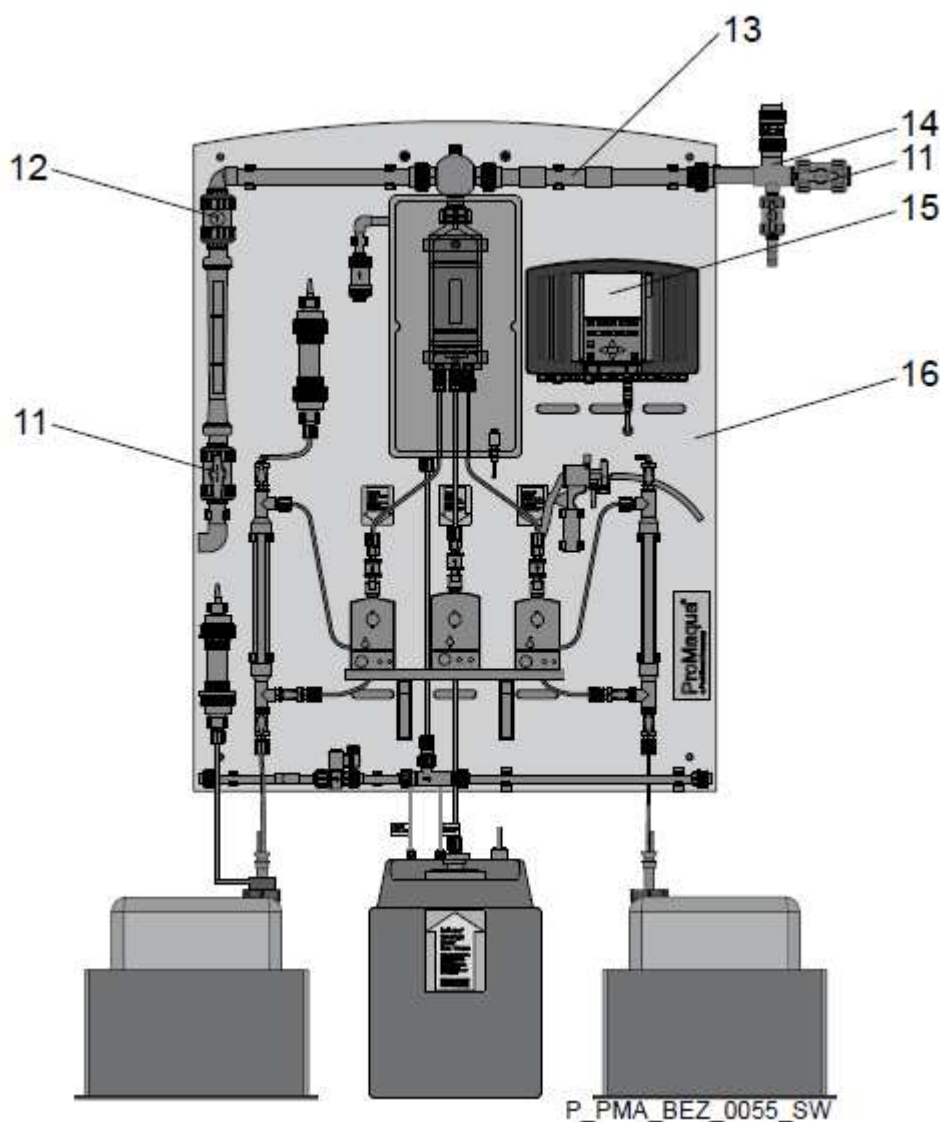
Slika 3-2 prikazuje uređaj za proizvodnju i doziranje klor dioksida, koji koristi koncentrirane kemikalije – liniju za doziranja kiseline, dok slika 3-3 prikazuje ostale komponente klorinatora.



Pozicija	Naziv	Pozicija	Naziv
1	Ventil - izlaz iz reaktora	6	Dozirna pumpa – kiselina
2	Reaktor	7	Uređaj za kalibraciju - kiselina
3	Ventil - kiselina u reaktor	8	Separator para – kiselina
4	Doziranje – kiselina	9	Usisna linija – kiselina
5	Ventil – kiselina	10	Spremnik – kiselina

Slika 3-2 Klorinator – linija doziranja kiseline





Pozicija	Naziv
11	Premosna linija
12	Nepovratni ventil
13	Miješalica
14	Oprema za ispiranje s vakuum ventilom
15	Kontrolni panel
16	Nosiva ploča

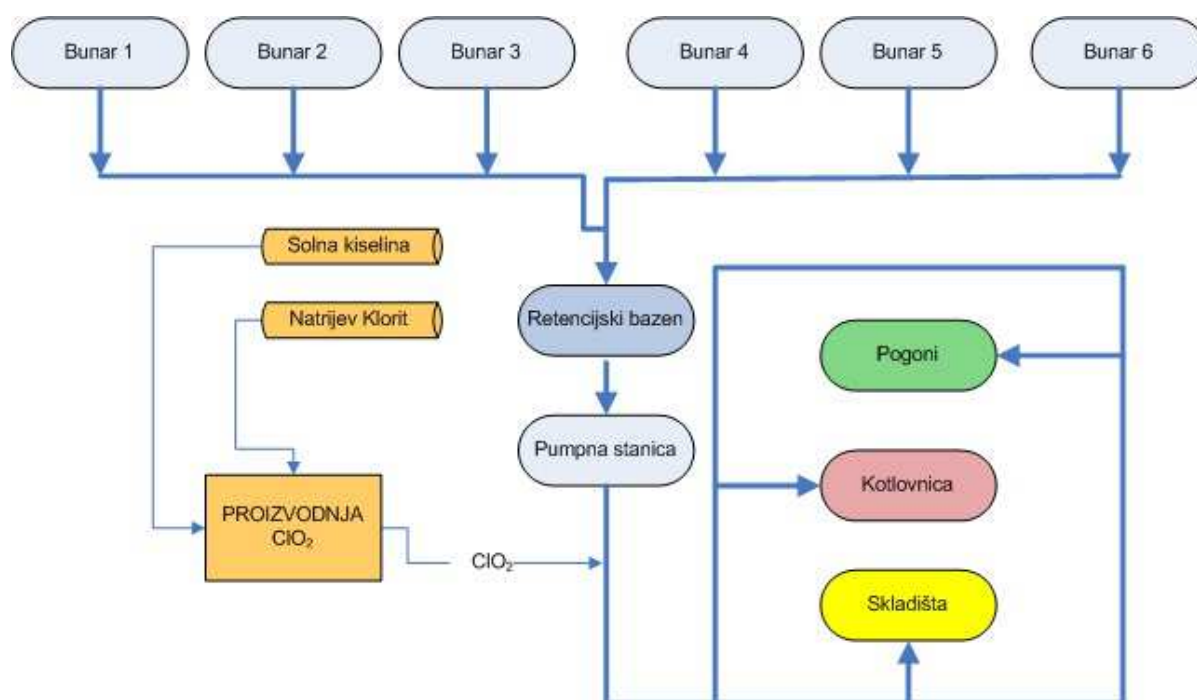
**Slika 3-3 Klorinator – ostale komponente**

Kao što je to ranije rečeno proizvodnja i distribucija vode je u pravilu proces koji je potpuno automatiziran i reguliran putem nadzorno-upravljačkog sustava, koji omogućuje osim

upravljanja na samom vodocrpilištu i daljinski nadzor i upravljanje iz udaljene kontrolne sobe.

Slika 3-4 prikazuje principijelnu shema proizvodnje pitke vode.

Tipični sustav proizvodnje i distribucije vode sastoji se od bunara, sabirnog bazena, sustava za dezinfekciju bunarske vode, sustava za on-line praćenje ostatnog kloru u vodi, baterije distributivnih crpki, te mreže magistralnog cjevovoda.



**Slika 3-4 Principijelna shema proizvodnje i distribucije pitke vode**

Voda se crpi iz bunara pomoću dubinskih pumpi, u sabirni bazen, te se uz pomoć frekventno upravljanih centrifugalnih pumpi, vođenih zadanim tlakom vode u distributivnoj mreži, distribuira do potrošača.

### 3.2.2. *Proizvodnja DEI vode*

Za potrebe proizvodnje suhozasićene vodene pare koristi se napojna kotlovska voda, koja se sastoji od deionizirane (DEI) vode i povratnog kondenzata.

Proizvodnja DEI vode za potrebe proizvodnje suhozasićene vodene pare je najčešće bazirana na sistemu "Reverzne osmoze" (RO), gdje se prije same reverzne osmoze voda filtrira na automatskom pred filtru pri čemu se iz vode uklanjaju netopive suspendirane čestice kao što su pijesak, mrtve alge, nakupljene i odlomljene inkrustracije. Finoća filtracije je 95 µm.

Nakon pred filtracije voda pitka se omekšava na automatskom postrojenju za neutralnu ionsku izmjenu (regeneracija sa NaCl). Kationska izmjena provodi se na sintetičkim organskim smolama, pri čemu natrijevi ioni iz materijala za izmjenu baze zamjenjuju mjesta s kalcijevim i magnezijevim ionima iz vode. Prije potpunog iscrpljivanja organske smole automatski se aktivira regeneracija jednog od dva stupnja automatskog omekšivača, a ionska smola se regenerira s otopinom natrijevog klorida jake koncentracije. U prisutnosti koncentrirane otopine natrijevog klorida kreće obrnuta kationska izmjena pa natrij zamjenjuje kalcij i magnezij. Proces omekšavanja i regeneracije je automatiziran i kontinuiran jer se u jednoj koloni obavlja omekšavanje dok se druga kolona regenerira i tako naizmjenice.

Tipična karakteristika vode koja se obrađuje su:

- ulazna karbonatna tvrdoća °dH...18-20
- elektro provodljivost...668 µS/cm
- pH... 7,34
- klor dioksid... 0,2mg/lit

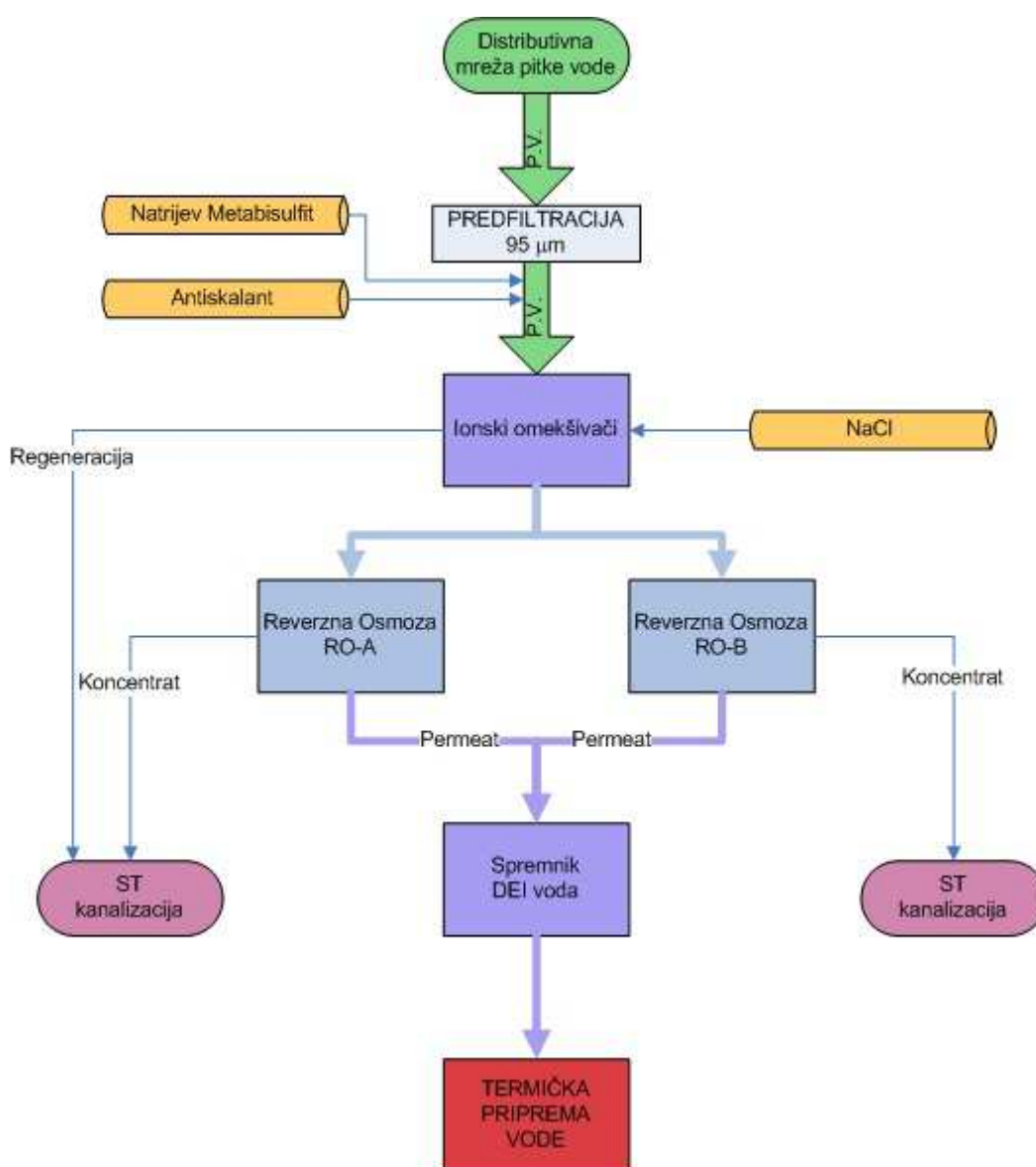
Zbog mogućnosti pojave slobodnog klora u vodi omekšanoj iznad dozvoljenih i uobičajenih vrijednosti, u svrhu zaštite polupropusnih membrana reverzibilne osmoze ispred postrojenja reverzibilne osmoze ugrađen je dozirni uređaj (dozirna crpka, miješalica, pogonski spremnik) za doziranje 15%-tne otopine natrijevog bisulfita ( $\text{NaHSO}_3$ ) kojim se reducira slobodni klor.

Korekciju pH vrijednosti omekšane vode (neutralizacija ugljičnog dioksida, koji u vodi otopljen stvara ugljičnu kiselinu), vrši se doziranjem 35%-tne otopine natrijevog hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dozirnim uređajem.

Za zaštitu od taloženja zaostalih sastojaka u vodi prije ulaska u RO dozira se Antiscalant. Nakon doziranja voda prolazi kroz statički mješač gdje se vrši potpuno miješanje doziranih kemikalija s vodom prije ulaska u RO. Nakon statičkog mješača kontrola eventualnog klor dioksida u vodi vrši se elektrodom za selektiranje redoks potencijala.

Voda, bez klora, zaštićena Antiskalantom ulazi u RO (liniju RO-A i/ili RO-B), gdje se sistemom reverzibilnog postupka osmoze vrši daljnje pročišćavanje, uklanjanjem 97-98 % svih preostalih ili novo nastalih sadržaja u vodi. Voda iz RO razdjeljuje se na permeat (obrađena voda) i koncentrat (otpadna voda). Koncentrat sa reverznih osmoza odvodi se u tehnološku kanalizaciju, dok se permeat usmjerava u spremnik permeata koji je opremljen nivo sondama koje pokreću i zaustavljaju rad RO.

Slika 3-5 shematski prikazuje primjer procesa proizvodnje DEI vode



Slika 3-5 Shematski prikaz proizvodnje DEI vode

Linije su u pravilu potpuno automatizirane što podrazumijeva pokretanje, zaustavljanje i pranje, te sva mjerenja zadanih parametara.

Osnovne karakteristike vode koja izlazi iz sustava proizvodnje DEI vode su:

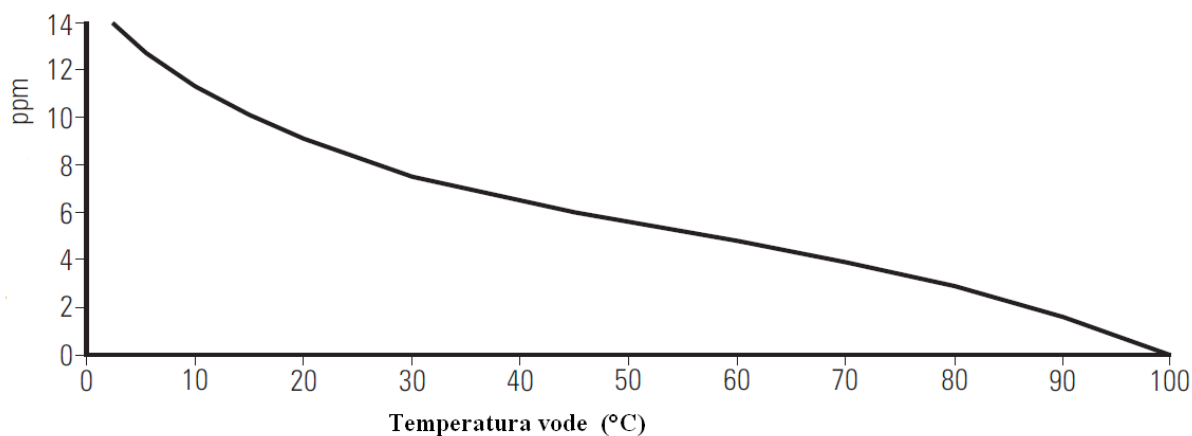
- elektro provodljivost...  $< 30.0 \mu\text{s/cm}$
- pH ..... 6.5 – 8.5
- tvrdoća.....  $< 1^\circ \text{dH}$
- temperatura.... 10-20 °C

### 3.2.3. Proizvodnja i distribucija suhozasićene vodene pare

Industrijska para se koristi dijelom za grijanje, a dijelom u tehnološkim procesima. Proces proizvodnje industrijske pare je kontinuiran i pod stalnim (24 satnim) nadzorom operatera.

Proces proizvodnje suhozasićene vodene pare započinje sa termičkom pripremom napojne kotlovske vode (TPV), koja se sastoji od spremnika s prikupljenim kondenzatom, spremnika DEI vode sa pripadajućim napojnim pumpama, te spremnika napojne kotlovske vode s otplinjačem.

Termička priprema vode obavlja se u rezervoaru napojne vode sa otplinjivačem, gdje se voda zagrijava na 105°C kako bi se minimizirao sadržaj otopljenog kisika i ostalih plinova u vodi koji imaju štetno djelovanje na sami kotao. Na slici 3-6 prikazan je odnos sadržaja kisika u vodi u ovisnosti o temperaturi napojne vode.



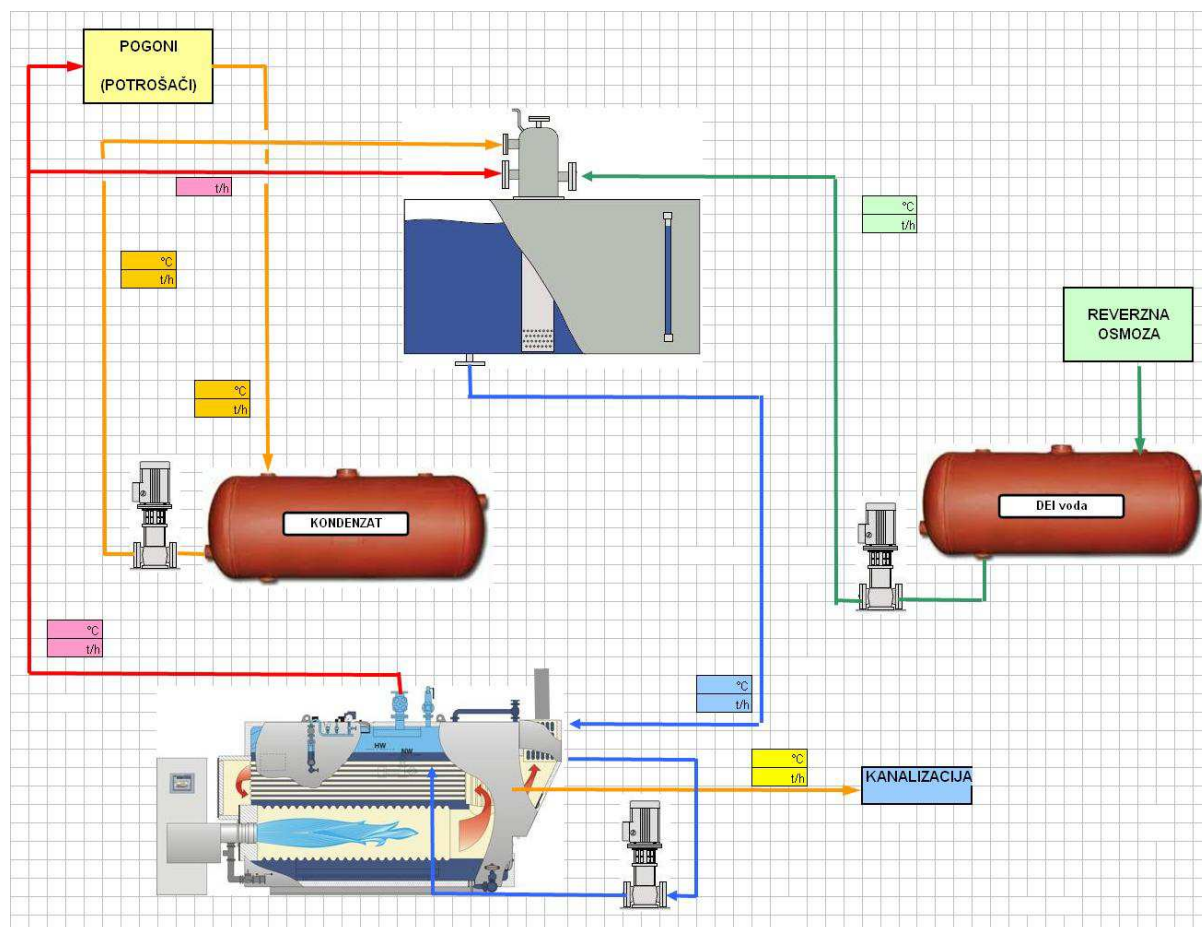
Slika 3-6 Sadržaj kisika u odnosu na temperaturu vode

Voda na otplinjivaču se zagrijava uz pomoć pare, tako da što je niža prosječna temperatura vode koja ulazi u otplinjivač (DEI voda i kondenzat), time je i potrošnja pare veća (samopotrošnja kotlovnice).

Napojna voda se preko pumpi dovodi u kotlove do određenog nivoa, što se prati na vodokazima uz svaki kotao. Osigurava se dovod goriva (prirodni plin). Tada se pale kotlovi putem upravljačkih ormara s programiranim procesom paljenja goriva. Pogon svakog kotla je automatiziran ali postoji mogućnost ručnog vođenja kotlova i njima pripadajućih postrojenja.

Iz kotlova, para se vodi do razdjelnika pare, ovisno o tlaku i temperaturi same pare. Niskotlačna para iz kotlova odvodi se do razdjelnika pare gdje se distribuira do potrošača putem distributivne parne mreže. Od potrošača se pak kondenzat vraća u sabirni spremnik kondenzata

Na slici 3-7 pojednostavljeno je shematski prikazana proizvodnja i distribucija suhozasićene vodene pare.



**Slika 3-7 Shematski prikaz proizvodnje i distribucije vodene pare**

#### **4. Primjena sustava Vitke Šest Sigme u svrhu optimizacije procesa proizvodnje i distribucije pare**

U ukupnoj potrošnji energije, trošak toplinske energije nosi značajan udio, za čiju se proizvodnju kao energent uobičajeno koristi prirodni plin. Optimiranjem potrošnje toplinske energije ostvaruje se ne samo ušteda na troškovima energije, već se i smanjuje ugljični otisak. Kao osnovni energent za proizvodnju toplinske energije koristi se u većini slučajeva prirodni plin. Količina potrošnje prirodnog plina ovisi osim o proizvodnim – tehnološkim - potrebama i o godišnjem dobu, to jest o potrebama za grijanje. U zimskom periodu potrošnja toplinske energije je najveća – oko 70% ukupne potrošnje, budući da se znatan dio toplinske energije troši na grijanje prostora, dok se u ljetnom periodu sva toplina troši isključivo za potrebe tehnoloških procesa.

Primjena metodologije i alata Šest Sigme i Vitkog menadžmenta prikazat će se na primjeru optimizacije dijela sustava energetike, kao jednog od potpornog procesa proizvodnji farmaceutskih proizvoda, konkretno na primjeru racionalizacije uporabe toplinske energije, gdje su kao primarni objekt racionalizacije postavljeni troškovi toplinske energije. Ti troškovi su glavna pokretačka snaga koja dovodi do pokretanja projekta ovakve vrste, gdje korištenje energije i prateći troškovi zahtijevaju stalnu pažnju. Promjene cijena osnovnih energenata na svjetskom tržištu (nafte i prirodnog plina) izaziva velike promjene cijena i kod svih drugih energenata, što se neposredno odražava na troškove poslovanja.

Na projektima ovoga tipa uobičajeno je zadan rok za definiranje problema (As-Is stanja), mjerenja, analize i prijedloga novog rješenja (To-Be stanja) od tri mjeseca, te implementacije predloženih / odobrenih rješenja u idućih šest mjeseci. Za potrebe projekta potrebno je osigurati financijsku podršku, koja je nužna za realizaciju projekta.

U skladu s ranije napomenutom logikom pristupa Vitke Šest Sigme optimizaciji (prikazanoj na Slika 2-8) projekt započinjemo metodologijom DMAIC (Definiraj, Izmjeri, Analiziraj, Poboljšaj i Kontroliraj), iz razloga što su procesi – predmeti optimizacije – već postojeći. Da se tijekom provedbe DMAIC metodologije utvrdi da je potrebno u potpunosti zamijeniti postojeće procese novima pristupilo bi se metodologiji DMADV.

Tablica 6. prikazuje početne tri faze pri provođenja optimiranja.

**Tablica 6. DMA faza Projekta**

Faza		Opseg – Proceduralan plan	
D	Define / Definiraj	Postavke projekta	Poslovni slučaj
			Definiranje problema i izjave o ciljevima
			Opseg projekta
			Temeljne (kritične) točke
			Uloge u projektu
			Projektni plan
		Glas Kupca (VOC)	Utvrđiti potrebe kupca
M	Measure / Izmjeri	Definirati proces (SIPOC)	SIPOC – Dobavljač, Ulaz, Proces, Izlaz i Kupac
		Odabrati proces optimiranja	Odrediti kandidate optimiranja
		Plan prikupljanja podataka	Gdje i kako prikupiti podatke
		Referentna točka	S čim se uspoređuje
A	Analyse / Analiza	Statistička procesna kontrola	Provjera izmjerenog - validacija
		Mapa procesa	VSM - mapiranje toka vrijednosti
		As-Is model	Modelirati postojeće stanje
		Simulacija procesa	Simulacija i validacija modela
		Nominacija poboljšanja	Prijedlog koncepta poboljšanja

U postupku izvršenja faze – Analiza, potrebno je procijeniti: Jesu li inkrementalna poboljšanja procesa dovoljna da se ispune zadani ciljevi? Je li eliminacija negativne kvalitete dovoljna ili je potrebno generirati pozitivnu kvalitetu?

Ukoliko se utvrdi da inkrementalna poboljšanja nisu dovoljna, potrebno je koristiti metodologiju DMADV kojom bi se trebalo značajno redefinirati postojeći proces ili stvoriti novi. U tablici 7. prikazan je opseg, završne, DV (Dizajniraj & verificiraj) faze projekta.

**Tablica 7. DV faza projekta**

Faza		Opseg – Proceduralan plan	
D	Design / Dizajniraj	Razrada rješenja	Razrada koncepta i evaluacija
		Izrada	Izrada u skladu sa principima Vitkog menadžmenta
		Plan implementacije	Razrada i priprema implementacije
V	Verify / Verificiraj	Ispitivanje	Ispitivanje To-Be modela i verifikacija
		Implementacija	Izvedba i uvođenje novog procesa
		Praćenje KPI	Praćenje karakterističnih značajki novog procesa



#### **4.1. Faza Definiranja projekta**

Proces optimizacije započinje fazom Definiranja projekta, u kojem je potrebno definirati problem i/ili prilike za poboljšanje. Ovaj korak određuje opseg (granice) projekta, potrebne resurse, vremenske rokove (pojedinih faza projekta), očekivani cilj i cost-benefit analizu. Bitno je da se problem definira sa stajališta korisnika pojedinih procesa a ne samih vlasnika procesa.

U fazi definiranja projekta potrebno je :

- odrediti postavke projekta i definirati radni tim
- utvrditi potrebe (glas) kupca
- definirati proces

##### ***4.1.1. Postavke projekta***

Da bi se uopće pokrenuo projekt potrebno je definirati temeljne postavke projekta u dokumentu koji daje okvire i ciljeve za Projektni tim. Taj dokument se zove Project charter.

Na slici 4-1 prikazan je primjer dokumenta Project Charter.

Pet su osnovnih elementa Project Charter:

1. Poslovni slučaj – Objasniti zašto se projekt pokreće
2. Definiranje problema i izjave o ciljevima – Opisati problem / prilike i ciljeve na jasnim, preciznim i mjerljivim izrazima
3. Opseg projekta – Definirati procese i raspoložive resurse
4. Temeljne točke – Ključni koraci i datumi da se ostvare ciljevi
5. Uloge – Ljudi, očekivanja i odgovornosti

1. Ime projekta											
2. Proizvod / Proces						3. Voditelj Projekta					
4. Pozicija / Posl. jedinica						5. Mentor BB					
6. Datum početka projekta:				7. Ciljani datum završetka projekta				8. Projekt Šampion			
9. Članovi tima: (Ime, Posl. jed.)											
10. Ključni dionici (Interni, eksterni)											
11. Resursi											
12. Opis projekta / Iskaz problema											
13. Opseg projekta / Granice projekta											
14. Ciljevi projekta		Projektna metrika:		Jedinice:		Trenutno:		Početna točka		Cilj	
15. Procirani poslovni benefit:											
16. Plan projekta / Ključne točke		Definiraj									
		Mjeri									
		Analiziraj									
		Unaprijedi									
		Kontroliraj									
Izradio: (potpis Voditelja projekta)		Kontrolirao: (potpis Mentora projekta / BB)		Potvrdio: (potpis PEP Direktora)		Odobrio: (potpis Šampiona projekta)					
Datum:		Datum		Datum		Datum		Datum			

Slika 4-1 Primjer dokumenta Project Charter

#### 4.1.1.1. Poslovni slučaj

Potrebno je utvrditi veze između projekta sa strateškim poslovnim prioritetima na način da se odgovori na sljedeća pitanja:

- Kako će projekt utjecati na poslovne inicijative i ciljeve?
- Kako će projekt utjecati na kupca / korisnika?
- Zašto je važno pokrenuti projekt sada? Zašto je to prioritet?
- Koje su posljedice ako se projekt ne realizira sada?
- Koji su finansijski benefiti?

#### 4.1.1.2. Definirane problema i Izjave o ciljevima

Definicija problema mora jasno naznačiti činjenično stanje, a ne pretpostavke ili nagađanja. Znači, izjava o problemu mora sadržavati konkretne činjenice što, kada i gdje, te precizirati kakav je utjecaj ili koje posljedica uzrokuje taj problem.

Kod definiranja problema bitno je voditi računa o sljedećim pitanjima:

- Je li problem baziran na opažanjima (činjenicama) ili pretpostavkama?
- Prejudiciramo li definiranjem problema koji je uzrok problema?
- Je li moguće prikupiti podatke kako bi se verificirao i analizirao problem?
- Je li problem definiran preširoko ili preusko?
- Je li rješenje već uključeno u definiciju problema?
- Bi li kupci bili sretni da znaju da se radi na predmetnoj problematici?

Kod definiranja izjave o ciljevima, bitno je poštivati SMART preporuke. Postavljeni ciljevi moraju biti sljedećih karakteristika:

**SPECIFIČNI** (*eng. Specific*) – nedvosmisleno definirani

**MJERLJIVI** (*eng. Measurable*) – definiraju kvantitativne i kvalitativne mjere uspješnosti

**OSTVARIVI** (*eng. Achievable*) – da se mogu postići (ostvariti)

**REALNI** (*eng. Realistic*) – primjenjivi u praksi

**U VREMENSKOM OKVIRU** (*eng. Time bounded*) - vezani uz specifične rokove

#### 4.1.1.3. Opseg projekta

U opsegu projekta mora se jasno definirati koji procesi su predmet projekta i koji su resursi na raspolaganju i uz koja ograničenja; granice procesa – gdje je startna, a gdje krajnja točka projekta. Potrebno je također i odrediti trajanje projekta - preporučeno trajanje projekta bi trebalo biti 4-6 mjeseci.

#### 4.1.1.4. Temeljne (kritične) točke

Nužno je definirati kritične točke u projektu kako bi se osigurali pravovremeni rezultati, znači, jasno definirani ključni koraci i ciljani datumi završetka pojedine faze. One moraju biti vezane uz faznost projekta, realno ostvarivi i dokumentirani, te redovno osvježavani. (što je ključno)

#### 4.1.1.5. Uloge u projektu

Prema 6σ metodologiji imamo sljedeće uloge:

**Šampion** – Sponzor projekta, član višeg menadžmenta

- osigurava strateški smjer projektnog tima
- pomaže Crnim pojasevima u otklanjanju prepreka
- sigurava resurse potrebne timu
- zadržava usmjerenost Crnih pojaseva na ciljne rezultate

**Vodeći crni pojas** – Mentor i trener projekta. Ekspert kojeg koriste kao resurs više timova.

- 100% posvećen podršci projektnom timu
- nisu članovi pojedinog tima već su eksperti za više timova
- pružaju periodički trening i specifičnu podršku na problematici tima

**Crni pojas** – Voditelj projekta puno radno vrijeme. Vodi nekoliko projekata

- voditelj projektnog tima
- prati i izvještava o napretku projekta
- upravlja komunikacijskim kanalima unutar projekta
- pruža stručni trening kada je nužan
- koordinira timskim aktivnostima
- upravlja rokovima i administrativnim obvezama

**Zeleni pojas** – Voditelj projekta dio vremena. Implementira unapređenja procesa

- predstavnik je tima u organizaciji
- glasnogovornik je tim
- spona između tima i organizacije
- sudjeluje u timu
- doprinosi znanju i ekspertizi

**Članovi tima** - Svi zaposlenici, kontinuirano povećavaju vrijednosti za kupca

- sudjeluju u radu tima
- doprinosi znanju i ekspertizi
- podređen je timskom cilju
- posvećuje vrijeme za ostvarenje zadataka
- pravovremeno obavještava nadređene

#### 4.1.1.6. Projektni plan – Racionalizacija troškova proizvodnje i distribucije toplinske energije

Na osnovu ranije navedenih naputaka – kreira se sažetak Project chartera, na osnovu kojeg se kreće u provedbu projekta. Na slici 4-2 prikazan je primjer projektnog plana, vezan uz projekt racionalizacije troškova toplinske energije.

Projekt	Racionalizacija troškova proizvodnje i distribucije toplinske energije			
Problem / opis	- cijena prirodnog plina porasla 117% u 1 g.			
	- stupanj povrata kondenzata <20%			
	- dio korisnika izlazi iz sustava distribucije			
	- komplicirani sustav distribucije pare			
	- 20% potrošača nije pokriveno mjerenjima			
	- 73% pare se direktno isporuči korisniku			
	- ne postoji energetska studija			
Ciljevi		<b>Metrika</b>	<b>Start</b>	<b>Cilj</b>
	- smanjiti gubitke u distribuciji t.e. za 30%	t/god pare	8.000	5.600
	- smanjiti uk. potrošnju vode za 30%	m <sup>3</sup> /god	81.000	57.000
Opseg	- smanjiti količinu otpadnih voda za 50%	m <sup>3</sup> /god	35.000	17.500
Poslovni slučaj	Optimiranjem troškova topl. energije: - smanjujemo ukupne troškove energetike - smanjujemo ugljični otisak - povećavamo kapacitete proizvodnje pare - smanjujemo utrošak vode			
Opseg	- proizvodnja DEI vode			
	- Kotlovnica			
Temeljne točke	- distributivna mreža	<b>Dokument</b>		<b>Rok</b>
	- mjerenje	Maping		30 d.
	- definiranje AS-IS stanja	Energetski audit - draft		15 d.
	- analiza i prijedlog TO-BE stanja	Energetski audit - final		30 d.
	- nominiranje Investicija	Investment request		15 d.

**Slika 4-2 Projektni plan–Racionalizacija troškova proizvodnje i distribucije topl. energije**

Bitno je naglasiti da je projektni plan "živi" dokument, kojeg je potrebno osvježavati tijekom samog provođenja projekta. On mora vjerno reflektirati trenutnu situaciju.

Ukoliko se utvrdi da su se financijski benefiti ili pretpostavke značajno promijenili, potrebno je uključiti projektnog Šampiona i odjel financija u reviziju projektnog plana.

#### 4.1.2. Utvrditi potrebe (glas) kupca

U ovoj fazi nužno je razmotriti problematiku iz kuta gledanja kupca - kako bi smo bolje shvatili što kupac želi – a u odnosu na predmetni proces.

Tu je potrebno dati odgovore na pitanja:

- Tko je moj kupac?
- Kako kupac vidi moj proces?
- Što kupac gleda kada mjeri moju izvedbu?
- Što kupac traži od mene da bih zadovoljio njegove potrebe?

U našem konkretnom slučaju kupci su potrošači toplinske energije, za koje postoje "povijesni" podaci vezano uz potrošnju pare – to jest toplinske energije, što je i prikazano u tablici 8.

**Tablica 8. Raspodjela potrošnje toplinske energije**

Naziv cjeline	Energetski nivo	
	8 barg	3 barg
Pogon A		30%
Pogon B		20%
Pogon C	89%	23%
Skladišta A		11%
Skladišta B		5%
Pogon D	11%	3%
Ostali potrošači		8%
Ukupno	100%	100%

No da bi sagledali potpunu sliku nužno je prikupiti dodatne podatke, što je najefikasnije provesti putem intervjua, te sublimirati važeće stavove vezano uz problematiku, primjedbe i projekcije tj. buduće planove. Od intervjua se očekuje dati odgovore na pitanja:

- Što je važno kupcu?
- Postoje li problemi vezani uz proizvod/uslugu?
- Postoje li prijedlozi za poboljšanje usluge?

- Provjeriti mogućnosti i spremnosti na eventualne promjene proizvoda/usluge

**Važno:**

Stabilnost isporuke	- Nužna raspoloživost toplinske energije 100% vremena
Kvalitetnije mjerenje	- Nepokrivenost pojedinih potrošača mjerilima protoka
Cijena	- Kupac ocjenjuje trošak toplinske energije previsokim

**Problemi:**

Pokrivenost mjerenjem	- Pojedini potrošači djelomično paušalni obračun potrošnje
Stabilnost tlaka pare	- Postoje problemi sa stabilnošću tlaka na 8 barg tlaku pare

**Poboljšanja / Prilike:**

Prikupljanje kondenz.	- Na parnoj distributivnoj mreži, pojedine linije kondenzata spojene u kanalizaciju. Potrebno prikupiti kondenzat.
Zamjena grijanja	- Na udaljenim potrošačima zamijeniti sustav grijanja pare s el. en.
Ukidanje 3 barg pare	- Postoji mogućnost lokalnog prespajanja mag. parovoda 8 barg i 3 barg voda kod samog potrošača.

**Promjene:**

Vlastita kotlovnica	- Pojedini potrošači izgrađuju autonomne sustave grijanja
---------------------	---

Tablica 9. prikazuje informacije provedenih intervjua koji su sistematizirani kao VOC (*eng. Voice of the Costumer*) tablica:

Tablica 9. Glas kupaca (VOC)

Naziv cjeline	Što je važno	Problemi	Poboljšanja	Promjene
<b>Pogon A</b>	stabilnost isporuke	/	prikupljanje kondenzata	/
<b>Pogon B</b>	Kvalitetnije mjerenje / stabilnost isporuke	pokrivenost potrošača (mjerenje)	/	/
<b>Pogon C</b>	cijena / Stabilnost isporuke / stabilan tlak mreže	stabilnost tlaka 8 barg pare	/	Izrađuju vlastitu kotlovnicu
<b>Skladišta A</b>	cijena	/	/	Prijelaz na novi sustav grijanja
<b>Skladišta B</b>	cijena	pokrivenost potrošača (mjerenje)	Zamjena udaljenih potrošača el. grijanjem	/
<b>Pogon D</b>	cijena / Stabilnost isporuke	/	ukidanje 3 barg pare	Izrađuju vlastitu kotlovnicu
<b>Ostali</b>	stabilnost isporuke	/	/	/



### 4.1.3. Definirati proces - SIPOC

Proces je skup aktivnosti koji ima jedan ili više ulaza i stvara izlaz koji stvara vrijednost za kupca. Elementi koji čine proces su:

Dobavljač	- Onaj koji dobavlja ulaz u proces	( <b>S</b> - eng. <i>Supplier</i> )
Ulaz	- Materijali, resursi i podaci potrebni za izvršenje procesa	( <b>I</b> – eng. <i>Input</i> )
Proces	- Skup aktivnosti određen zahtjevima i ograničenjima	( <b>P</b> – eng. <i>Process</i> )
Izlaz	- Proizvod ili usluga koji rezultira izvršenjem procesa	( <b>O</b> – eng. <i>Outputs</i> )
Kupac	- Tko zaprima izlaz iz procesa (interni ili eksterni)	( <b>C</b> - eng. <i>Customers</i> )

Zahtjevi - Specifična obilježja izlaza koji određuje opseg nužan za zadovoljstvo kupca

Ograničenja - Granice određenog procesa, uobičajeno određeni ulazima i izlazima koji odvajaju ono što je izvan procesa – gdje on počinje i gdje završava

Uobičajena kratica za elemente procesa je eng. SIPOC.

SIPOC tablica nam koristi kako bi mogli složene procese pojednostaviti i učiniti ih više preglednim. Omogućuje timu da vidi njihove ciljane procese u relacijama sa svim zahtjevima za potrebnim ulazima, izlazima, dobavljačima i kupcima. Uobičajeno sadrži 5 do 10 kritičnih koraka u procesu.

Definiranja SIPOC analize vrši se u 3 koraka:

1. Definirati ograničenja u procesu – jasno naznačiti gdje počinje, a gdje završava proces
2. Definirati tko je kupac u procesu – Analiza započinje od kupca, a zatim se definira koji su izlazi bitni za njih...
3. Definirati dobavljače – oni koji daju ulaze potrebne za proces da bi se postigao traženi izlaz

Za naš konkretan primjer SIPOC je naveden u tablici 10.

Tablica 10. SIPOC tablica

S - Supplier Dobavljač	I - Input Ulaz	P - Process Proces	O - Output Izlaz	C - Customer Kupac
Sustav bunara	Bunarska voda	Proizvodnja i distribucija pitke vode	Pitka voda	Distribucijska mreža pitke vode
Distribucijska mreža pitke vode	Pitka voda	Kemijska priprema vode	DEI voda	Kotlovnica
Kotlovnica + Pogoni	DEI voda + Kondenzat	Termička priprema vode	Kotlovska voda	Kotlovnica
Kotlovnica	Kotlovska voda	Proizvodnja i distribucija pare	Para	Pogoni

## 4.2. Faza Mjerenja procesa

U fazi definiranja projekta utvrđeno je između ostalog i koji procesi utječu na realizaciju ciljeva projekta – što je ranije prikazano u SIPOC tablici.

No svaki od tih procesa ima određeni – veći ili manji utjecaj na osnovni problem koji je doveo do pokretanja projekta. U našem slučaju to je smanjenje troškova toplinske energije.

Faza mjerenja sastoji se od četiri ključne cjeline:

1. Odabrati proces kao predmet optimiranja i određivanje metrike
2. Definirati plan prikupljanja podataka
3. Odrediti početnu točku – referentnu poziciju
4. Statistička procesna kontrola

### 4.2.1. Odabiranje procesa optimiranja

Uobičajeno u koraku – mjerenje procesa – jest provesti Pareto analizu, koja se temelji na principu da je u većini slučajeva, otprilike 80% problema uzrokovano sa 20% uzročnika.

Što implicira da u većini slučajeva možemo riješiti problem identificiranjem i napadanjem "par ključnih" izvora problema

Glavni sekundarni izvor toplinske energije je suhozasićena vodena para, za čiju su proizvodnju potrebni primarni energenti prirodni plin za generiranje pare i električna energija za potrebe rada ventilatora plamenika i kotlovskih pumpi te kotlovska voda.

Kotlovska voda se sastoji od mješavine deionizirane vode i kondenzata vraćenog od potrošača pare. Što se troškova tiče – varijabilni troškovi čine i do 90% ukupnih troškova proizvodnje pare. Ostatak od 10-ak % fiksnih troškova odnosi se na troškove amortizacije postrojenja za proizvodnju pare i distributivne mreže parovoda, održavanja i troškova ljudstva.

Struktura varijabilnih troškova pare, čije je smanjenje naš osnovni projektni cilj, prikazana je u tablici 11.

**Tablica 11. Struktura varijabilnih troškova suhozasićene vodene pare**

Naziv	Normativ / t pare		Udio u var. troškovima
	Jed. mjere	Količina	
Plin	Nm3	105	90%
Struja	kWh	14	3%
Dei voda	m3	0,66	7%
<b>Ukupno</b>			<b>100%</b>

Osim strukture varijabilnih troškova – potrebno je znati raspodjelu utroška pare, što je prikazano u relativnim odnosima u tablici 12.

**Tablica 12. Struktura raspodjele proizvedene pare**

Struktura distribucije proizvedene pare	Udio
Para predana korisnicima – izmjerena	67%
Para predana korisnicima – paušal procjena	7%
Samo potrošnja kotlovnice – procjena	26%
Gubici u distribuciji – procjena	
<b>Ukupno proizvedena para – izmjereno</b>	<b>100%</b>

Sagledavanjem podataka u tablici 11. i 12. moguće je izvesti određene zaključke i prepoznati područja koja imaju najveći potencijal za poboljšanje.

Prema podacima iskazanim u tablici 11. uočljivo je da trošak plina čini 90% ukupnih varijabilnih troškova toplinske energije, to jest 85% ukupnih troškova toplinske energije – te tako predstavlja glavni cilj optimizacije. Kako ne možemo utjecati na tržišnu cijenu plina, moramo se orijentirati na energetske učinkovitiju potrošnju pare.

Osnovno načelo na kojem se zasniva Šest Sigma je da:

**Ne možemo unaprijediti nešto čiju vrijednost ne znamo. Samo mjerenjem možemo saznati tu vrijednost.**

Prema podacima iskazanim u tablici 12. uočljivo je da nisu svi potrošači pokriveni konkretnim mjerenjima potrošnje, već se potrošnja procjenjuje paušalno, što je neprihvatljivo, da se ne mjeri potrošnja pare u svrhu zagrijavanja kotlovske vode, to jest samo potrošnja kotlovnice, već je poznata samo razlika između izmjerene količine proizvedene pare i konkretno izmjerene, količine dostavljene pare korisnicima, a što čini 26% ukupnog utroška pare. O problemu definiranja nepokrivene potrošnje pare bit će više riječi kod definiranja početne – referentne točke.

#### **4.2.2. Definiranje plana prikupljanja podataka**

Prikupljanje podataka obuhvaća sljedeće korake:

1. Utvrditi ciljeve prikupljanja podataka – Razjasniti svrhu prikupljanja podataka, Identificirati koje podatke je potrebno prikupiti
2. Razviti izvedbene definicije i procedure – Definirati strukturu i formu prikupljanja podataka
3. Osigurati konzistenciju podataka - testirati i validirati sustave mjerenja
4. Prikupiti podatke i pratiti konzistenciju – Pratiti točnost podataka i njihovu konzistenciju

Kod definiranja ciljeva prikupljanja podataka potrebno je razjasniti koji su naši ciljevi, za što nam mogu pomoći sljedeća pitanja:

- Što moram znati o procesu?
- Koji podaci su mi potrebni?
- Koji je plan analize podataka nakon što ih prikupimo?
- Koji su nam podaci već raspoloživi?
- Kako ćemo prezentirati podatke?
- Kako će izgledati izvješće?

Kako bi se moglo pripremiti analizu podataka, u nekim slučajevima, potrebno je izvršiti segmentaciju podataka. Segmentacija je analitička tehnika koja obuhvaća privremeno razdvajanje velike grupe podataka na manje logičke cjeline kako bi se moglo usporediti dobre i loše strane procesa, to jest razumjeti što uzrokuje varijacije u procesu.

U našem slučaju postoji vrlo dobra baza povijesnih podataka koji su već segmentirani to jest koji se prikazuju u ranije definiranim formama – poput prikaza potrošnje po pojedinim potrošačima po određenim vremenskim periodima i to u materijalnom (energetskom) i financijskom smislu, iz kojih proizlaze određeni normativi to jest ključni pokazatelji (*eng. KPI – Key performance indicators*)

Kako bi bila osigurana konzistencija podataka potrebno je jasno specificirati varijable koje se prikupljaju, te način na koje se mjere – za što nam je potrebna Operativna definicija s kojom precizno opisujemo kako dobiti vrijednost karakteristike koja se mjeri. Ona uključuje što i na koji način se mjeri. Znači, mora se osigurati da bez obzira tko vrši mjerenja – da su rezultati mjerenja konzistentni.

Podaci koji se prikupljaju mogu biti:

- a) kontinuirani – sve što se kontinuirano mjeri npr. temperatura, protok, vrijeme..
- b) diskretno – sve što se može kategorizirati npr. prihvaćeno/odbijeno, da/ne, isključeno/uključeno...

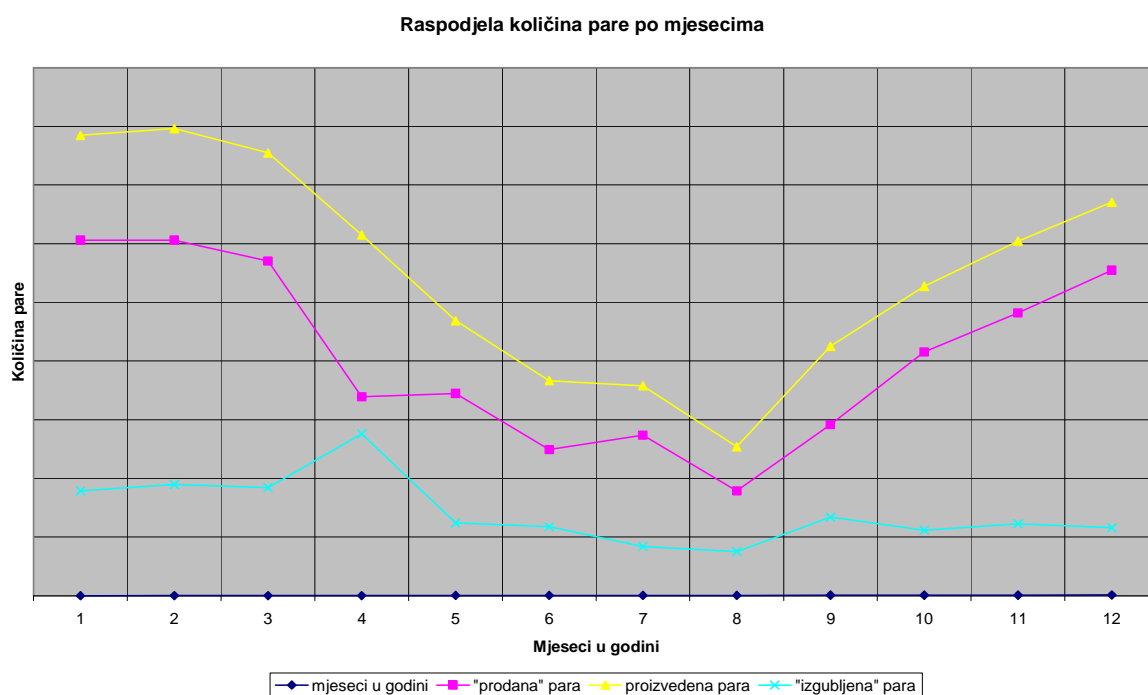
Za osiguravanje konzistencije podataka moraju se poštivati (definirati) ključni elementi plana prikupljanja podataka:

Indikatori kvalitete	– kategorija kvalitete koja se mjeri – npr. trošak procesa
Načini kvantificiranja	– Što se prebrojava – npr. broj radnih sati utrošenih u procesu
Način prikazivanja	– Specifični izračuni podataka kako bi se nešto kvantificiralo – npr. broj radnih sati x cijena radnog sata
Izvor	– od kuda dolaze podaci – npr. od rukovoditelja pogona, rukovoditelja financija
Način prikupljanja	– Obrasci ili sustavi koji služe za pohranu podataka – npr. SAP
Tko prikuplja podatke	– Određena osoba koja je odgovorna za prikupljanje podataka

#### 4.2.3. Odrediti početnu točku – referentnu poziciju

Da bi se moglo uspoređivati izmjerene podatke i utvrditi odstupanja, potrebna nam je referentna pozicija, to jest točka ili stanje s kojim se uspoređuje. U našem slučaju kao referentna točka uzeta je ranija potrošnja i raspodjela potrošnje pare, što je prikazano na slici 4-3.

Slika 4-3 prikazuje raspodjelu proizvedene pare po mjesecima, to jest kako se kreću odnosi između količina pare: proizvedeno / predano / "izgubljeno".



**Slika 4-3 Raspodjela količina pare po mjesecima**

Analizom postojećih podataka uočeno je da za kvalitetnu sliku izlaznih vrijednosti procesa, potrebnu za kvalitetnu daljnju analizu - nedostaju pojedina mjerenja – to jest podaci vezani uz potrošnju pare u svrhu dogrijavanja napojne vode – takozvana samo potrošnja kotlovnice i mjerenja gubitaka.

Mjerenje potrošnje Termičke pripreme vode je relativno lagano rješivo jednostavnom instalacijom mjerila protoka pare na parovodnu liniju, te se na osnovu tih podataka po analogiji može utvrditi/potvrditi procjena njene potrošnje.

No prije utvrđivanja konkretnih rezultata mjerenja potrošnje pare na TPV, moguće je analitikom doći do relativno precizne procjene putem izračuna, o čemu će biti više riječi u poglavlju – faza analize.

Također, što se tiče gubitaka u samoj distribuciji pare, pošto je relativno skupo izvršiti sva potrebna mjerenja – njih je potrebno odrediti na osnovu procjena i izračuna na konkretnim parovodnim linijama - o čemu će također biti više riječi u poglavlju – faza analize.

#### **4.2.4. Statistička procesna kontrola**

U cilju validacije sustava procesne kontrole, potrebno je statistički obraditi podatke. Neprekidnim praćenjem provjeravamo je li proces pod statističkom kontrolom, odnosno jesu li sve vrijednosti promatranih parametara slučajno raspršene unutar kontroliranih granica (zahtjeva).

Cilj statističke procesne kontrole je pravovremeno otkriti neočekivana odstupanja od postavljenih zahtjeva, kako bi se mogle pravovremeno poduzeti odgovarajuće korektivne akcije. Također, omogućuje indirektno utvrđivanje neočekivanih odstupanja, ukoliko se prate parametri koji mogu utjecati na ta odstupanja. Na temelju povijesnih podataka određuju se kontrolne granice za sve relevantne parametre.



### 4.3. Faza Analize procesa

Da bi se izvršila kvalitetna analiza procesa potrebno je sagledati sve relevantne podatke koji su prikupljeni u prethodnim fazama, a uz pomoć kojih će se izraditi kvalitetan model procesa koji će se kasnije koristiti za simulacije postojećeg (*eng. As-is*) i budućeg stanja procesa (*eng. To-be*).

Kako bi smo kvalitetno definirali proces i prikazali konkretne tokove materijala iz čega se mogu uvidjeti gubici – potrebno je provesti detaljniju analizu pojedinih faza procesa.

U fazi analize procesa, a i kasnije u fazi unapređenja procesa, uobičajeno je da se koristi vanjske usluge (*eng. Outsourcing*), radi nedovoljnih vlastitih kapaciteta, kratkih vremenskih rokova i manjka raspoloživih zelenih pojaseva i operativaca koji bi dali kvalitetnu i nepristranu ocjenu trenutnog tehničkog stanja promatranog sustava

Kao bazični alat za izradu modela procesa uobičajeno se koristi alat Vitkog menadžmenat VSM (*eng. Value Stream Mapping*) uz pomoć kojeg utvrđujemo ne samo dijagram toka procesa, već naznačujemo i sve relevantne vrijednosti koje definiraju svaki pojedini entitet i aktivnost kojom se opisuje proces. Kao što je ranije bilo rečeno, model procesa predstavlja pojednostavljeni, približni prikaza realnog sustava, koji predstavlja funkcionalnu cjelinu, u svrhu boljeg razumijevanja, proučavanja i mogućnosti eksperimentiranja s tim sustavom, s ciljem njegovog poboljšavanja.

Aдекватnim (validiranim i verificiranim) simulacijskim modelom promatranog procesa omogućava se upravljanje promjenama, to jest omogućeno je predviđanje dinamike i ponašanja procesa. Prije izrade VSM-a i modela procesa potrebno je definirati strukturu samog procesa.

#### 4.3.1. Analiza procesa proizvodnje demineralizirane vode

Proizvodnja demineralizirane vode se temelji na ionskoj izmjeni (omekšavanju) te reverznoj osmozi. U prvoj fazi voda nakon filtracije i uklanjanja ostatnog klora prolazi kroz kolonu za omekšavanje. Postojeći dvostruki omekšivač vode kontinuirano proizvodi omekšanu vodu koristeći dvije identične kolone od kojih je jedna u radu, a druga u postupku regeneracije ili čeka spremna za rad (*eng. Stand by*). Proces omekšavanja teče na principu mjerenja protoka

vode kroz kolonu (volumno) ili vremenski do trenutka kada se dostigne unaprijed zadana količina omekšane vode, a automatski upravljački ventil prebacuje i pušta u rad drugu kolonu. Zasićena ionska masa u prvoj koloni se regenerira otopinom NaCl i ostaje u stanju čekanja sve dok se druga kolona ne zasiti, kada upravljački ventil automatski ponovo vraća proces na prvu kolonu. U postupku regeneracije se gubi oko 7% vode i za svaki m<sup>3</sup> omekšane vode utroši se cca 1 kg NaCl. Bitno je napomenuti da u našem slučaju, gdje imamo i proizvodnju pitke vode, da se pojavljuju i gubici u distributivnoj mreži pitke vode, koji iznose u prosjeku cca 10% ukupne iscrpljene količine.

Nakon omekšavanja voda ulazi u sistem reverzne osmoze. Reverzna osmoza je obrnuti proces prirodne osmoze, a koristi se za desalinizaciju ili uklanjanje soli iz vodenih otopina. koristeći pogodne membrane visokog radnog učinka, danas je moguće ukloniti više od 99% svih soli iz vodenih otopina.

Od svih postupaka membranske filtracije, reverzna osmoza ima najviši postotak separacije. Princip rada procesa obrnut je onome u prirodi, poznatome kao osmoza, kada tvari prolaze kroz polupropusnu membranu iz područja manje u područje veće koncentracije potpomognute osmotskim tlakom koji se stvara na stjenkama membrane uslijed razlike u koncentraciji.

U procesu reverzne (obrnute) osmoze, pod utjecajem vanjskog tlaka kojeg stvaraju pumpe, vodeni se medij tlači obrnuto djelovanju osmotskog tlaka i prolazi kroz polupropusnu membranu. Membrana predstavlja barijeru koja selektivno propušta čestice koje se nalaze u vodenom mediju na temelju njihove razlike u veličini, obliku i kemijskoj strukturi.

Ulazni vodeni medij razdvaja na dva dijela: permeat ili dio koji je prošao kroz membranu i koncentrat ili zasićeni dio koji ne prolazi membranu. Membrane koje se koriste u ovom postupku moraju biti mehanički jake, otporne na kemikalije i biološku aktivnost, izdržljive, pH i temperaturno tolerantne, fleksibilne i ekonomične.

Efikasnost postojećeg sustava reverzne osmoze je 65%, kada se uzmu u obzir svi gubici vode, uključujući i sva ispiranja RO kod starta i zaustavljanja rada, što znači da od ukupnog ulaza omekšane vode cca. 35% je gubitak, koji se baca u tehnološku kanalizaciju, dok 65% čini permeat to jest demineraliziranu vodu koja se kasnije koristi kao napojna kotlovska voda.

Ukupna materijalna bilanca "vodene" strane u procesu demineralizacije, sa prikazanim svim gubicima u procesu prikazana je u tablici 13.

**Tablica 13. Bilanca vode u procesu demineralizacije**

Naziv	Količina (m <sup>3</sup> )	Udio vs. iscrpljeno
Ukupno iscrpljena bunarska voda	80.922	100%
Gubici u distribuciji vode	-8.090	-10%
Gubice regeneracije ionskih omekšivača	-5.099	-6,3%
Gubici RO – Koncentrat	-23.709	-29,3%
Ukupni gubici na procesu demineralizacije	-36.898	-45,6%
<b>Ukupno proizvedene demineralizirane vode</b>	<b>44.024</b>	<b>54,4%</b>

Demineralizirana voda to jest permeat iz reverzne osmoze koristi se u termičkoj pripremi vode za proizvodnju napojne kotlovske vode. Napojna kotlovska voda sastoji se od kondenzata vraćenog iz procesa, te demineralizirane vode.

Materijalna bilanca "vodene" strane u proizvodnji pare prikazana je u tablici 14.

**Tablica 14. Bilanca vode u procesu proizvodnje pare**

Naziv	Količina	Udio vs. napojna v.
Ukupno proizvedena kotlovska napojna voda	52.410 m <sup>3</sup>	100%
Demineralizirana voda	44.024 m <sup>3</sup>	84%
Povrat kondenzata	8.385 m <sup>3</sup>	16%

Komentar tablice 22., to jest rezime "vodene" strane u proizvodnji pare jest sljedeći:

Napojna kotlovska voda sastoji se od 8.385 m<sup>3</sup> kondenzata vraćenog iz procesa (16% povrata) i 44.024 m<sup>3</sup> demineralizirane vode. Za proizvodnju te količine demineralizirane vode potrebno je 67.732 m<sup>3</sup> omekšane vode, gdje se u procesu demineralizacije, to jest na reverznim osmozama gubi cca. 35% ulazne vode na koncentrat (23.709 m<sup>3</sup>).

U procesu omekšavanja vode gubi se cca 7% količina ulazne pitke vode (5.099 m<sup>3</sup>), radi potrebe regeneracije ionskih izmjenjivača, što znači da je u procesu omekšavanja potrebno ukupno 72.831 m<sup>3</sup> pitke vode.

Prilikom distribucije pitke vode od vodocrpilišta do Kotlovnice javljaju se distribucijski gubici koji iznose 10% ili 8.090 m<sup>3</sup>.

U konačnici, potrebno je iscrpiti ukupno 80.922 m<sup>3</sup> bunarske vode za proizvodnju 52.410 m<sup>3</sup> napojne vode koja se koristi u procesu proizvodnje pare.

#### 4.3.2. Analiza sustava proizvodnje i distribucije pare

Najzahtjevniji i najdugotrajniji predmet analize je provođenje energetske audita, unutar kojeg je potrebno izvršiti konkretna terenska snimanja, te utvrditi ispravnost elemenata na sustavu odvajanja kondenzata.

Kao podloga za izradu energetske studije dat je rezime svih bitnih činjenica, pretpostavki i ograničenja procesa, koja proizlaze iz faze mjerenja to jest iz postojećih povijesnih podataka, a to su:

- Toplinska energija proizvodi se u vlastitoj kotlovnici parnim kotlovima
- Izmjereni stupanj djelovanja kotlova je 93,4% i 93,5% (u navedenim stupnjevima djelovanja nisu uključeni gubici kotlova uslijed konvekcije i zračenja na okolinu)
- Osnovno gorivo je prirodni plin
- Na parovodima na izlazu iz oba kotla ugrađena su brojila pare s korekcijom po tlaku
- Dio pogona ima ugrađena brojila pare (90%), dok se dio obračunava paušalno
- Potrošnja pare za napojni spremnik se ne mjeri već se procjenjuje (paušalno)
- Maksimalna zimska potrošnja pare je 6 puta veća nego minimalna ljetna potrošnja
- Maksimalna zimska potrošnja pare angažira 80% instalirane toplinske snage kotlova
- Radni parametri pare su 175°C i 9 bar-a
- Postojeći potrošači su na 4 bar-a i 9 bar-a
- Potrošnja na 4 bar-a je znatno veća nego potrošnja na 9 bar-a
- Postojeći povrat kondenzata (70°C) je minimalan i iznosi oko 16%. Kao dodatna voda koristit se demineralizirana vode temperature 15°C
- Za analizu su korišteni povijesni podaci o potrošnji pare i plina. Također potrebno je odrediti bazna godina kako bi se mogli uspoređivati rezultati analize
- Vrijeme rada energane (kotlovnice) je oko 8.600 sati godišnje
- Ogrjevna moć plina kojom je izvršen proračun je  $H_d = 33.350 \text{ kJ/m}_n^3$ .
- Iz postojećeg parnog sustava izaći će tri značajna potrošača zbog izgradnje vlastite kotlovnice

Ono što nije bilo moguće ili nije bilo prilike utvrditi u fazi mjerenja, potrebno je izračunati to jest procijeniti analitičkim metodama. U našem procesu "nepokrivena" je ostala potrošnja pare u otplinjaču i napojnom spremniku te gubici pare na distributivnoj mreži.

#### 4.3.2.1. Potrošnja pare u otplinjaču i napojnom spremniku

Za termičku pripremu vode instaliran je zajednički atmosferski otplinjač i napojni spremnik. Za pogon se koristi svjež para iz kotlova koja se reducira putem regulatora tlaka bez pomoćne energije na tlak 1,2 bar-a. U napojnom spremniku, voda se zagrijava na 105°C. Na donjem djelu spremnika ugrađen je cjevovod za barbotazu ali nije ugrađen termički ventil bez pomoćne energije. U napojni spremnik se ubacuje kondenzat iz zajedničkog glavnog spremnika kondenzata, dodatna voda iz spremnika demineralizirane vode i recirkulacijska voda iz napojnih pumpi kotla. Izlučeni nekondenzirajući plinovi iz napojne vode odvede se zajedno sa otparkom kroz odušni cjevovod na krov kotlovnice. Napojni spremnik star je preko 35 godina i u vrlo je lošem stanju. Potrebna je skorija zamjena otplinjača, napojnog spremnika i armature iz sigurnosnih razloga i sigurnosti opskrbe parom, a ne zbog toplinskih gubitaka.

Za postojeće uvijete povrata kondenzata 16% i 70°C, temperatura napojne vode (105°C), temperatura dodatne vode 15°C, pogonski parametri svjež para, proračunata je satna i godišnja potrošnja pare za napojni spremnik na bazi proizvodnje 10 tona na sat pare na izlazu iz kotla. Proračunata je i godišnja potrošnja pare za napojni spremnik na bazi godišnje proizvedene količine pare.

Rezultati proračuna dati su u tablici 15., a kompletan proračun prikazan je na slici 4-4..

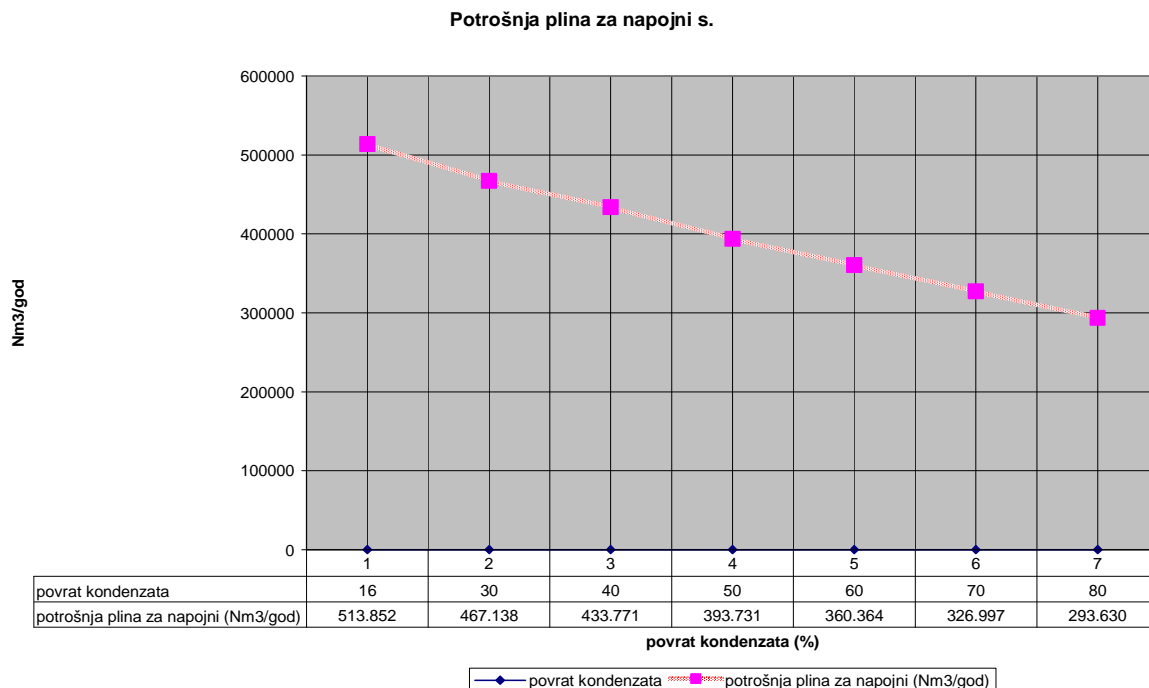
**Tablica 15. Potrošnja pare i plina – as-is normativi**

Godišnja potrošnja pare za napojni spremnik		
Proizvodnja pare u kotlu (godišnja)	%	100
Količina pare za napojni spremnik (godišnja)	%	12,85
Proizvodnja pare u kotlovnici (godišnja)	%	87,15
Potrošnja prirodnog plina		
Specifična količina plina na granici kotla	m <sub>3</sub> /t	77,67
Specifična količina plina na granici kotlovnice	m <sub>3</sub> /t	89,12

Lokacija	PLIVA SAVSKI MAROF		Postojeće stanje na bazi 2009.g	Bez Kvasca	
PODACI O PROIZVODNJI PARE					
TEMP. PREGR. PARE	oC	tp <sub>p4</sub>	175,36	175,36	
TLAK. PREG. PARE (apsolutni)	bar (a)	pp <sub>p4</sub>	9,00	9,00	
PROIZVODNJA PARE U KOTLU (satna)	t/sat	mp (sat)	10,00	10,00	
PROIZVODNJA PARE U KOTLU (sekundna)	kg/sek	mp (sek)	2,78	2,78	
PROIZVODNJA PARE U KOTLU (godišnja kumulativna na izlazu iz kotla)	t/god	mp (god)	51.836,00	38.000,00	
GUBITACI IZGARANJA I TOPINE DIMNIH PLINOVA		q <sub>izg</sub>	0,07	0,07	
GUBITACI IZRAČENJA I KONVEKCIJE KOTLOVA		q <sub>zr</sub>	0,03	0,03	
STUPANJ DJELOVANJA KOTLA	eta=1-q <sub>izg</sub> -q <sub>zr</sub>	eta	0,900	0,900	
PODACI O PARI					
ENT. PREG. PARE	kJ/kg	h <sub>pp4</sub>	2.772,13	2.772,13	
TEMP. ZASOČENJA	oC	tzp	175,36	175,36	
ENT. SUHO ZAS. PARE	kJ/kg	h <sub>zp</sub>	2.772,13	2.772,13	
TEMP. NAP. VODE (ULAZ U EKO)	oC	tnv7	105	105	
ENT. NAP. VODE (ULAZ U EKO)	kJ/kg	h <sub>nv7</sub>	440,7482102	440,7482102	
PODACI O KONDEZATU					
POSTO. POVRATA KONDEZATA	%	%	0,16	0,21	
TEMP. POVRATA KONDEZATA	oC	tpk	70,00	70,00	
ENTALPIJA POVRATA KONDEZATA	kJ/kg		293,03	293,03	
KOLIČINA POVRATA KONDEZATA (sekundna)	kg/sek	mpk	0,44	0,58	
KOLIČINA POVRATA KONDEZATA (godišnja)	t/god	mpk (god)	8.293,76	7.980,00	
PODACI O DODATNOJ VODI					
TEMPERATURA DODATNE VODE	oC	t <sub>v8</sub>	15,00	15,00	
ENTALPIJA DODATNE VODE	kJ/kg		63,04	63,04	
KOLIČINA DDM VODE	kg/sek		2,33	2,19	
PODACI O PLINU					
OGRJEVNA MOĆ PLINA	kJ/Nm3	H <sub>td</sub>	33.350,00	33.350,00	
SATNA I SEKUNDNA POTROŠNJA PARE ZA NAPUJNI SPREMIK					
KOLIČINA PARE ZA N. S. (sekundna)	$mpns=(mp*(h_{nv7}-t_{w6}*cp_w)+mpk*cp_w*(t_{w6}-tpk))/((0.98*(h_{pp4}-t_{w6}*cp_w)))$	kg/s	mpns	0,356875159	0,344832032
KOLIČINA PARE ZA N. S. (satna)	mpns*3.6	t/h	MPNS	1,284750573	1,241395316
PROIZVODNJA PARE U KOTLU (satna)		t/sat	mp (sat)	10,00	10,00
PROIZVODNJA PARE U KOTLOVNICI (satna)	mpk (sat) = mp (sat) - MPNS		mpk (sat)	8,72	8,76
UDIO POTROŠNJE NAP. SPREMNIKA U UKUPNOJ PROIZVODNJI		%		12,85%	12,41%
GODIŠNJA POTROŠNJA PARE ZA NAPUJNI SPREMIK					
KOLIČINA PARE ZA N. S. (Godišnja)	$mpns(god)=(mp*(h_{nv7}-t_{w6}*cp_w)+mpk(god)*cp_w*(t_{w6}-tpk))/((0.98*(h_{pp4}-t_{w6}*cp_w)))$	t/god	mpns(god)	6659,63	4717,30
PROIZVODNJA PARE U KOTLU (godišnja)			mp (god)	51.836,00	38.000,00
PROIZVODNJA PARE U KOTLOVNICI (godišnja)	mpk (god) = mp (god) - mpns(god)		mpk (god)	45.176,37	33.282,70
UDIO POTROŠNJE NAP. SPREMNIKA U UKUPNOJ PROIZVODNJI		%		12,85%	12,41%
POTROŠNJA PRIRODNOG PLINA					
KOLIČINA PLINA satna		Mn3/sat		776,74	776,74
KOLIČINA PLINA kumulativno godišnja		Mn3/god		4.026.309,91	2.951.612,33
SPECIFIČNA KOLIČINA PLINA NA GRANICI KOTLA		Mn3/t		77,67	77,67
SPECIFIČNA KOLIČINA PLINA NA GRANICI KOTLOVNICE		Mn3/t		89,12	88,68

Slika 4-4 Termički proračun napojnog spremnika (proračunski model)

Slika 4-5 prikazuje potrošnju prirodnog plina za zagrijavanje napojnog spremnika u ovisnosti o postotku povrata kondenzata. Trenutni povrat kondenzata je na razini 16% i za to je utrošak plina na razini 510.000 Nm<sup>3</sup> plina. Kada bi razina kondenzata bila na prihvatljivih 60% - potrošnja bi iznosila cca 360.000 Nm<sup>3</sup> plina ili cca. 30% manja.



**Slika 4-5 Specifična potrošnja plina za potrebe napojnog spremnika**

#### 4.3.2.2. Analiza gubitaka topline pri proizvodnji i distribuciji pare

Nakon što smo analitički utvrdili potrošnju napojnog spremnika, na redu su izračuni gubitaka pare. Gubici pare se mogu svrstati u tri osnovne kategorije:

- 1) Gubici pare na odušku napojnog spremnika
- 2) Gubici pare zbog propuštanja
- 3) Gubici pare u distributivnim parovodima
- 4) Gubici pare u neispravnim odvodnicima kondenzata
- 5) Gubici otpadne topline pri odsoljavanju kotlova
- 6) Gubici otpadne topline dimnih plinova

#### **Ad 1) Gubici pare na odušku napojnog spremnika**

Izlučeni nekondenzirajući plinovi iz napojne vode odvede se zajedno sa otparkom kroz odušni cjevovod na krov kotlovnice. Odušni cjevovod je dimenzija NO15. Pretpostavka je da kroz cjevovod prolazi oko 50% nekondenzirajućih plinova, a 50% je otparak. Za proračun je korišten programski software proizvođača parne opreme Gestra čiji su rezultati prikazani u

nastavku. Za karakteristične vrijednosti pare koja služi za zagrijavanje napojne vode i otplinjavanje prikazan je u tablici 16., dok su karakteristike oduška napojnog spremnika prikazane u tablici 17.

**Tablica 16. Karakteristika pare na otplinjaču**

<b>Tlak (Bara)</b>	<b>1,2</b>
Temperatura (°C)	104,8
Gustoća pare (Kg/m <sup>3</sup> )	0,70
Specifični volumen pare (m <sup>3</sup> /Kg)	1,428
Entalpija vode	439,4
Toplina isparavanja(KJ/Kg)	2.244,1
Entalpija pare (KJ/Kg)	2.683,5

**Tablica 17. Karakteristika oduška napojnog spremnika**

Promjer rupe (mm)	15,00
Tlak pare P1 (Bara)	1,2
Površina rupe (m <sup>2</sup> )	0,000176625
Brzina protoka (m/s)	14,1
Kv vrijednost rupe (m <sup>3</sup> /h)	8,90190
Protok pare (Kg/h)	131,84
Radni sati godišnje	8600,0
<b>Gubici pare godišnje (tone)</b>	<b>1.133,8</b>

No kako odušak čini smjesa utrošene pare i zraka – možemo pretpostaviti da je gubitak pare na odušku napojnog spremnika cca 577 tona godišnje. Bitno je napomenuti da je taj gubitak fiksni i ne ovisi o proizvodnji pare odnosno napojne kotlovske vode.

## **Ad 2) Gubici pare zbog propuštanja**

Tijekom obilaska, koje provela vanjska tvrtka, detektiranja su razna propuštanja kroz brtve, priрубnice, vretena armature kroz neispravnu armaturu. Ovisno o promjeru ekvivalentne rupe i tlaku pare unutar parovoda mijenja se količina propuštene pare. Za tu svrhu je korišten programski paket proizvođača parne opreme Gestra čiji su rezultati prikazani u nastavku. Ovisnost gubitaka o tlaku i ekvivalentnom promjeru rupe također je prikazana i dijagramski, što je i prikazano na slici 4-6.

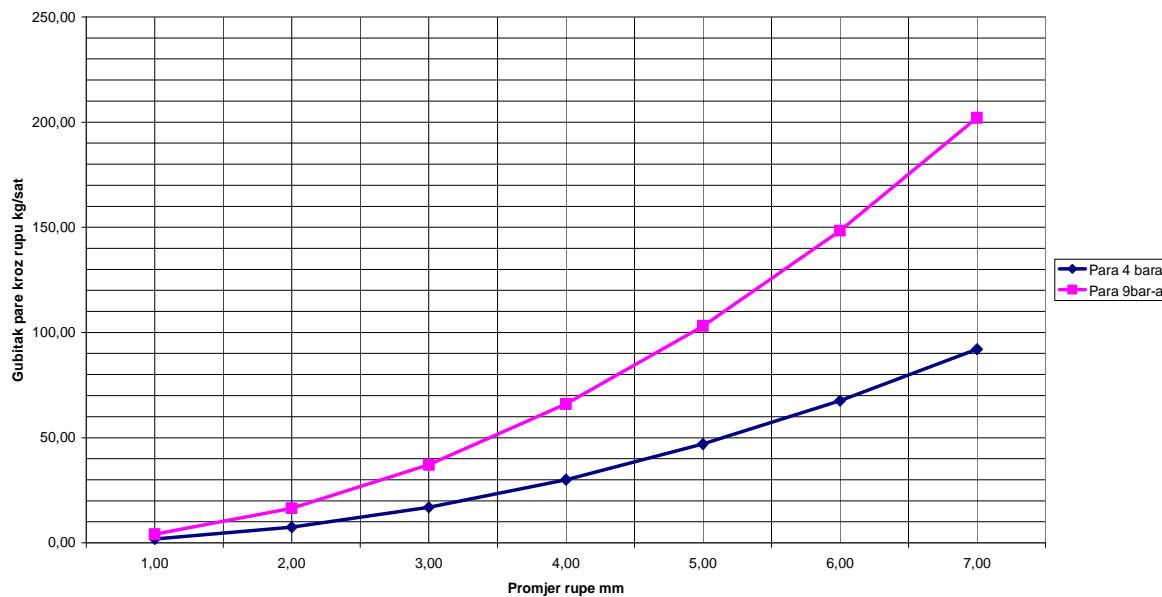


SUSTAV 4 bar-a							
Promjer rupe (mm)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Tlak pare P1 (Bara)	4	4	4	4	4	4	4
Površina rupe (m <sup>2</sup> )	0,000000785	0,00000314	0,000007065	0,00001256	0,000019625	0,00002826	0,000038465
Brzina protoka (m/s)	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Kv vrijednost rupe (m <sup>3</sup> /h)	0,03956	0,15826	0,35608	0,63302	0,98910	1,42430	1,93864
Protok pare (Kg/h)	1,88	7,51	16,91	30,06	46,97	67,63	92,05
Radni sati godišnje	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0
Gubici pare godišnje (tone)	16,2	64,6	145,4	258,5	403,9	581,6	791,7

SUSTAV 9 bar-a							
Promjer rupe (mm)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Tlak pare P1 (Bara)	9	9	9	9	9	9	9
Površina rupe (m <sup>2</sup> )	0,000000785	0,00000314	0,000007065	0,00001256	0,000019625	0,00002826	0,000038465
Brzina protoka (m/s)	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Kv vrijednost rupe (m <sup>3</sup> /h)	0,03956	0,15826	0,35608	0,63302	0,98910	1,42430	1,93864
Protok pare (Kg/h)	4,12	16,49	37,11	65,97	103,08	148,43	202,04
Radni sati godišnje	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0	8600,0
Gubici pare godišnje (tone)	35,5	141,8	319,1	567,3	886,5	1.276,5	1.737,5

Gubici propuštanja u ovisnosti o ekvivalentnom promjeru rupe (mjesto propuštanja) i tlaku pare



Slika 4-6 Gubici propuštanja (protutlak 1 bar-a)

Na osnovu proračunatog protoka, pretpostavljenog broja mjesta propuštanja i broja radnih sati procijenjen je godišnji gubitak pare zbog propuštanja. U tablici 18. su prikazani pretpostavljeni gubici zbog propuštanja na sustavima distribucije pare 4 bar-a, dok su u tablici 19. prikazani gubici zbog propuštanja na sustavima distribucije pare 9 bar-a

**Tablica 18. Gubici zbog propuštanja na sustavu 4 bar-a**

Sustav distribucije pare 4 bar-a			
Ekvivalentni promjer rupe (propuštanja)	Količina	Gubitak pare po rupi	Ukupni gubitak pare
Mm	kom	Kg/h	kg/h
1	3	1,88	5,64
2	3	7,51	22,54
3	2	16,91	33,82
4	2	30,06	60,12
5	1	46,97	46,97
6	0	67,63	0,00
7	0	92,05	0,00
Ukupno	11		169,08
Radni sati godišnje sati/god			8.600
<b>Godišnji gubitak pare sustav 4 bar-a t/god</b>			<b>1.454</b>

**Tablica 19. Gubici zbog propuštanja na sustavu 9 bar-a**

Sustav distribucije pare 9 bar-a			
Ekvivalentni promjer rupe (propuštanja)	Količina	Gubitak pare po rupi	Ukupni gubitak pare
mm	kom	Kg/h	kg/h
1	3	4,12	12,37
2	3	16,49	49,48
3	1	37,11	37,11
4	1	65,97	65,97
5	0	103,08	0,00
6	0	148,43	0,00
7	0	202,04	0,00
Ukupno	8		164,93
Radni sati godišnje sati/god			8.600
<b>Godišnji gubitak pare sustav 9 bar-a t/god</b>			<b>1.418</b>

**Ad 3) Gubici pare u distributivnim parovodima**

U sklopu distributivnog sustava postoji 2.850 m parovoda koji su u funkciji, čiji je popis prikazan na slici 4-7 i slici 4-8, te oko 800 m parovoda koji su van funkcije. Analizirana je produkcija kondenzata u normalnom pogonu koja je zbog tako velikog razvoda značajna. Analizirana je i produkcija kondenzata prilikom starta postrojenja iz hladnog stanja. Pretpostavljena su dva takva starta tokom godine, a pretpostavljeno vrijeme progrijavanja parovoda je 1 sat.

Također je analizirano stanje izolacije (gola armatura, gole prirubnice, mjestimična oštećenja). Za potrebe proračuna u tu svrhu, za pojedine dimenzije parovoda i pojedine promjere pretpostavljena je ekvivalentna duljina oštećene izolacije u metrima. Proračunski model to smatra kao голу neizoliranu cijev.

SUSTAV 4 bar-a				
R.br.	Trasa	DN	debljina izolacije mm	duljina trase m
1	A	300	80	420
2	B	250	80	180
3	C	200	80	120
4	D	200	80	500
5	E	150	80	262
6	F	125	80	37
7	G	80	80	299
8	H	125	80	45
			<b>UKUPNO</b>	<b>1.863</b>

**Slika 4-7 Popis distributivnih parovoda sustava 4 bar-a**

SUSTAV 9 bar-a				
R.br.	Trasa	DN	debljina izolacije mm	duljina trase m
9	I	125	80	180
10	J	100	80	500
11	K	65	80	262
12	L	150	80	45
			<b>UKUPNO</b>	<b>987</b>

**Slika 4-8 Popis distributivnih parovoda sustava 9 bar-a**

Suma gubitaka pare u distributivnim cjevovodima prikazan je u tablici 20.

**Tablica 20. Suma gubitaka pare u distributivnim cjevovodima**

SUSTAV 4 bar-a		
Protok kondenzata, kod starta, čelične cijevi	t/god	3,62
Protok kondenzata u normalnom pogonu	t/god	1.910,5
Protok kondenzata zbog oštećenja izolacije	t/god	1.440,0
SUSTAV 9 bar-a		
Protok kondenzata, kod starta, čelične cijevi	t/god	1,06
Protok kondenzata u normalnom pogonu	t/god	810,6
Protok kondenzata zbog oštećenja izolacije	t/god	554,7
<b>UKUPNO GUBICI U DISTRIBUTIVNIM CJEVOVODIMA</b>	<b>t/god</b>	<b>4.720,54</b>

Velike gubitke u distribuciji čine ispusti kondenzata od dreniranja parovoda koji su spojeni u upojne bunare. Zbog stalnog dotoka kondenzata ti bunari su ili preplavljeni kondenzatom ili je temperatura u njima oko  $99^{\circ}\text{C}$  - Slika 4-9.



**Slika 4-9      Temperatura u upojnom bunaru**

Na udaljenosti od oko 1,5m od bunara temperatura tla na dubini 10 cm je oko  $57^{\circ}\text{C}$ , što je posljedica velikog dotoka vrućeg kondenzata – Slika 4-10.

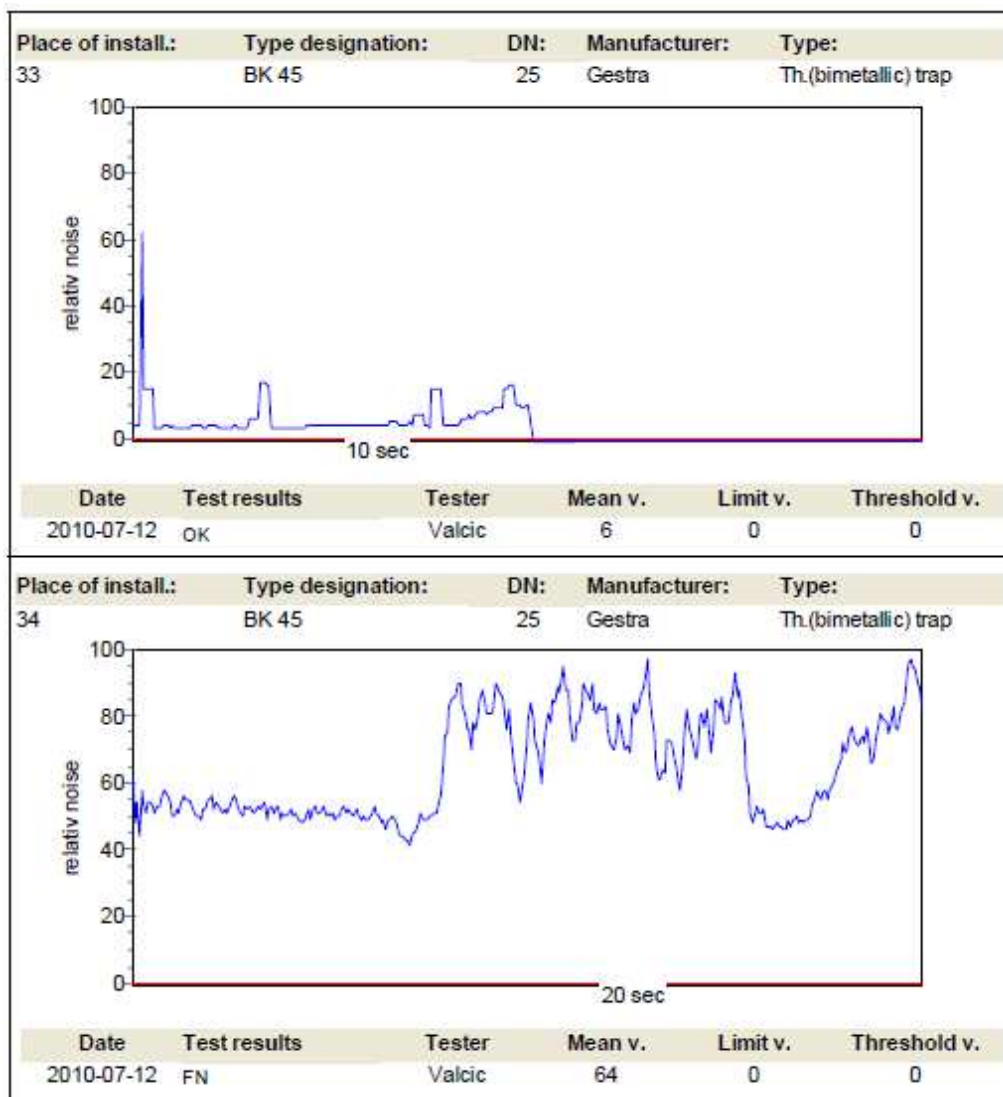


**Slika 4-10      Temperatura tla 1,5m od upojnog bunara**

#### Ad 4) Gubici pare u neispravnim odvodnicima kondenzata

Ispitani su odvodnici u kotlovnici i strojarnici (na razdjelnicima pare). Dio odvodnika na kaloriferima i na izmjenjivaču topline za izvozno skladište nije ispitan jer nisu bili u funkciji. Ispitivanje je provedeno ultrazvučnim mjeračem Gestra VKP40.

Na osnovu analize rezultata ispitivanja odvodnika zaključeno je da se radi neispravnih odvajača kondenzata godišnje gubi cca 198 t/god pare. Na slici 4-11 prikazani su primjeri dijagrami ispitivanja odvajača kondenzata.



Slika 4-11 Primjer krivulje ispitivanja odvajača kondenzata

### **Ad 5) Gubici otpadne topline pri odsoljavanju kotlova**

U analizi otpadnih topline u samoj kotlovnici potrebno je kvantificirati gubitke na sustavima.

Kao što je vidljivo iz mape procesa – u kotlovnici se generiraju određene količine otpadne topline i to na:

- proces odsoljavanja (5% količine proizvedene pare)
- dimni plinovi (175°C temperatura dimnih plinova)
- konvekcije i zračenja na okolinu (procjena 3,5%)

Prilikom proizvodnje pare dolazi do ugušćenja vode unutar kotla te raste konduktivitet. Iz razloga održavanja stabilnog konduktiviteta vode na razini ispod 1.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  potrebno je kontinuirano ispuštati vodu iz kotla, takozvano odsoljavanje, gdje je vodeća vrijednost konduktivitet kotlovske vode. U ovisnosti od kvalitete napojne vode određuje se postotak ispuštanja odsoljavanja, u našem slučaju to iznosi cca. 5% količine ukupno proizvedene pare tj. 2.589  $\text{m}^3$ . Izlazna temperatura odsoline je 191°C.

Trenutno nema instalirani ekspander, gdje bi se iskoristila toplinska energije odsoline. Moguće je iskoristiti odparak odsoline (16,8% mase odsoline ili cca 435 t pare na 0,2 barg) i spojiti ga na napojni spremnik, gdje bi ekspandirao na tlak otplinjača napojnog spremnika to jest na tlak od 0,2 barg. Preostali kondenzat odsoline (83,2% mase odsoline ili 2.157  $\text{m}^3$ ) temperature 105°C bi mogli rashladiti na 35°C to jest predati tu toplinu „hladnoj“ demineraliziranoj vodi.

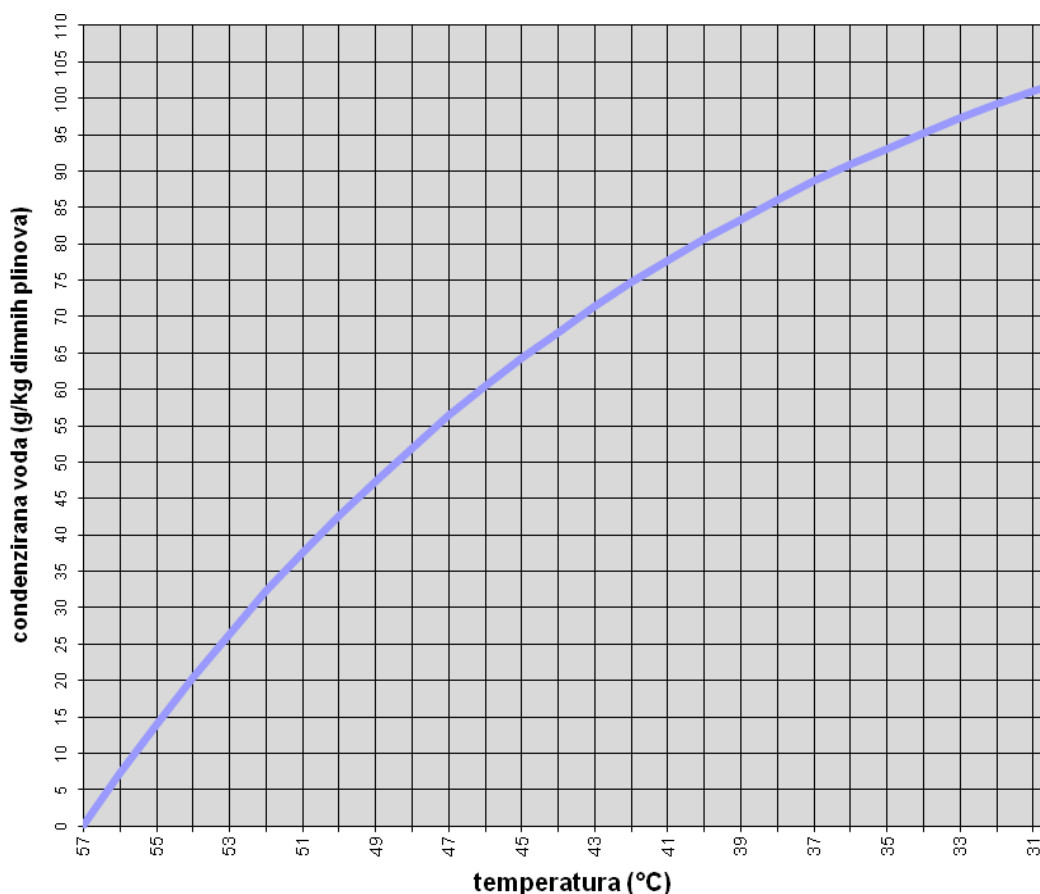
Osim odsoljavanja potrebno je jedanput u smjeni i ispustiti kotlovsku vodu preko specijaliziranog ventila – takozvano odmuljivanje, no te količine su zanemarive.



## Ad 6) Gubici otpadne topline dimnih plinova

Osim gore navedenih gubitaka, postoje još i gubici na dimnim plinovima. Prilikom proizvodnje pare dimni plinovi se utiliziraju na ekonomajzeru kotla, gdje se smanjuje temperatura dimnih plinova na  $175^{\circ}\text{C}$ , što je još uvijek relativno visoka temperatura. Postoje praktična iskustva, gdje se uspješno primjenjuje kondenzacijska tehnika koja dokazano smanjuje ukupnu potrošnju prirodnog plina za okvirno 6%, gdje je povrat investicije u konkretnom slučaju na razini 1,3 godine.

Kao princip koristi se snižavanje temperature dimnih plinova sa  $175^{\circ}\text{C}$  na  $47^{\circ}\text{C}$  putem zagrijavanja vode za kotlove. Iz slike 4-12 vidljivo je da se snižavanjem dimnih plinova na  $47^{\circ}\text{C}$  kondenzira 55 g/kg vode iz dimnih plinova.



Slika 4-12 t-x dijagram vlažnih dimnih plinova

No, kako zahvat na dodatnoj utilizaciji dimnih plinova zahtjeva dosta veliki prostor i angažman resursa, te zastoje u proizvodnji – nije se dodatno razmatrao to jest analizirao u ovome projektu.

#### 4.3.3. *Izrada mape procesa – VSM (eng. Value Stream Mapping)*

Mapa procesa omogućava članovima tima da razumiju cijeli proces i njegove elemente, kao što su:

- odnosi između procesa i njihova međudjelovanja
- ulazne vrijednosti koje utječu na izlaz (rezultate)
- potrebni resursi (uključujući sva ograničenja)
- mjerenja (podatke) i tijek informacija
- tko su naši stvarni kupci (korisnici) i koja su njihova očekivanja

Prilikom izrade mape procesa bitno je voditi računa o količini detalja korištenim prilikom izrade, to jest odrediti "prikladnu" razinu detalja. Pre malo detalja neće probleme u procesu učiniti vidljivim, dok s druge strane – previše detalja će dodatno sakriti problem.

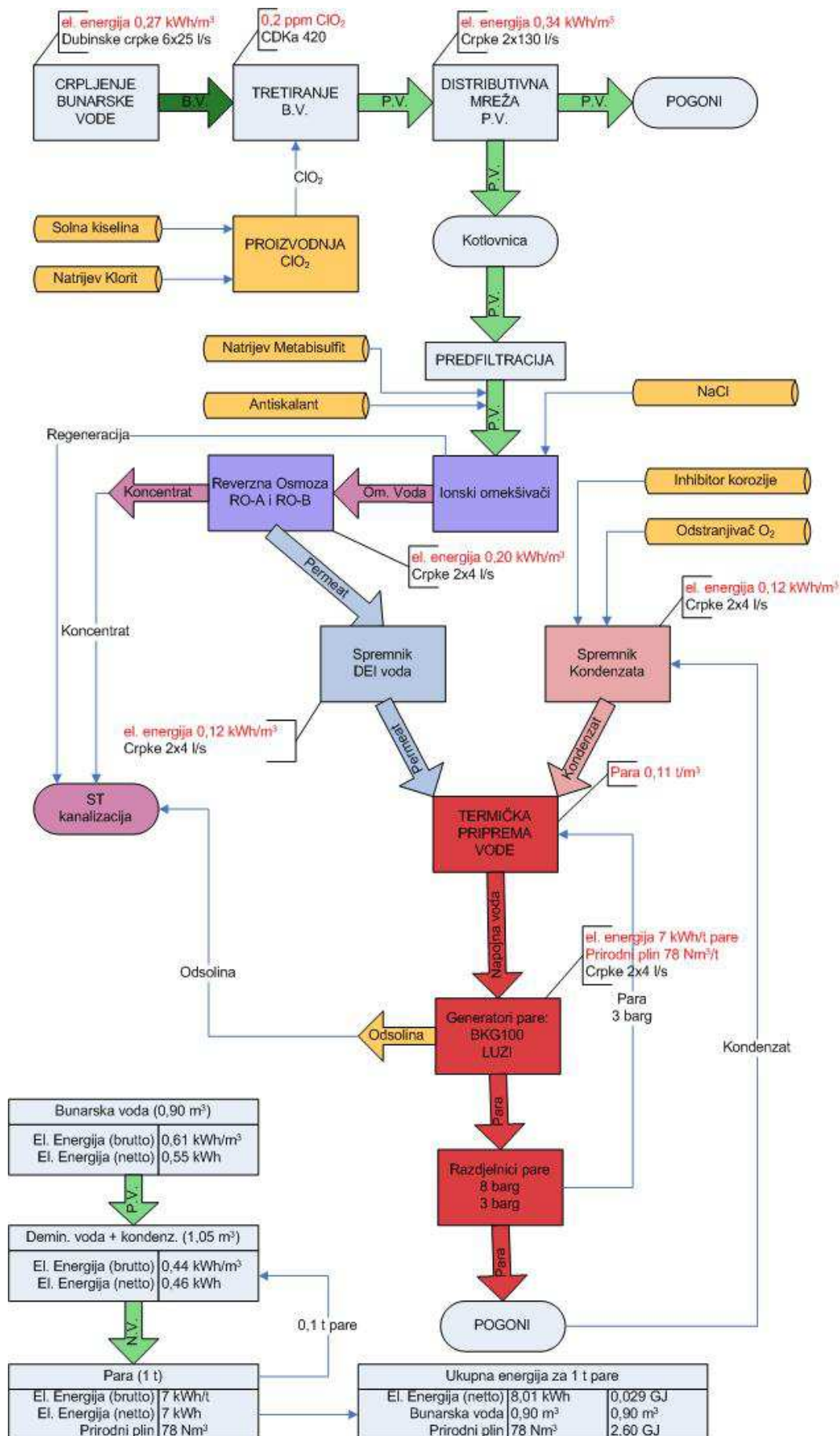
Kvalitetnim mapiranjem procesa možemo lakše utvrditi eventualne redundancije i gubitke unutar procesa, to jest utvrditi korijenski razlog zašto dolazi do rasipanja (gubitaka), koje se uz pomoć "vitkog" razmišljanja minimiziraju ili po mogućnosti uklanjaju u potpunosti.

Osnovni principi primjene Vitkog menadžmenta je eliminirati gubitke, ukloniti varijacije u procesu i poboljšati izlaze procesa, a to nam omogućuje da ostvarimo veću produktivnost, niže troškove i veću kvalitetu proizvoda.

U ovoj fazi moguće je iskoristiti principe Vitkog menadžmenta poput Mape toka vrijednosti - VSM (eng. *Value Stream Mapping*), što je i prikazano na slici 4-13 - Dijagram toka procesa proizvodnje pare. Identificirajući tok vrijednosti prikazujemo sve aktivnosti od početka do kraja s njihovim međusobnim relacijama koje transformiraju ulaze u izlaze, s čime nam je olakšano prepoznavanje mjesta gdje se generiraju gubici.

U mapi toka vrijednosti definirani su i resursi koji se koriste u procesu i dana je bilanca na bazi jedne tone proizvedene pare.





Slika 4-13 Dijagram toka procesa proizvodnje pare

Uočljivo je da proces prikazan na slici 4-13 dat općeniti prikaz procesa, koji ne pruža dovoljnu razinu detalja, te ne prikazuje, dovoljno jasno, granice pojedinih procesa. Iz tog razloga potrebno je prikazati tzv. višefunkcionalni procesni dijagram toka (*eng. Swim Line Map*) u kojem bi bili vidljivi odjeli i aktivnosti koji se provode u njima.

#### 4.3.4. Simulacija postojećeg (As-Is) stanja

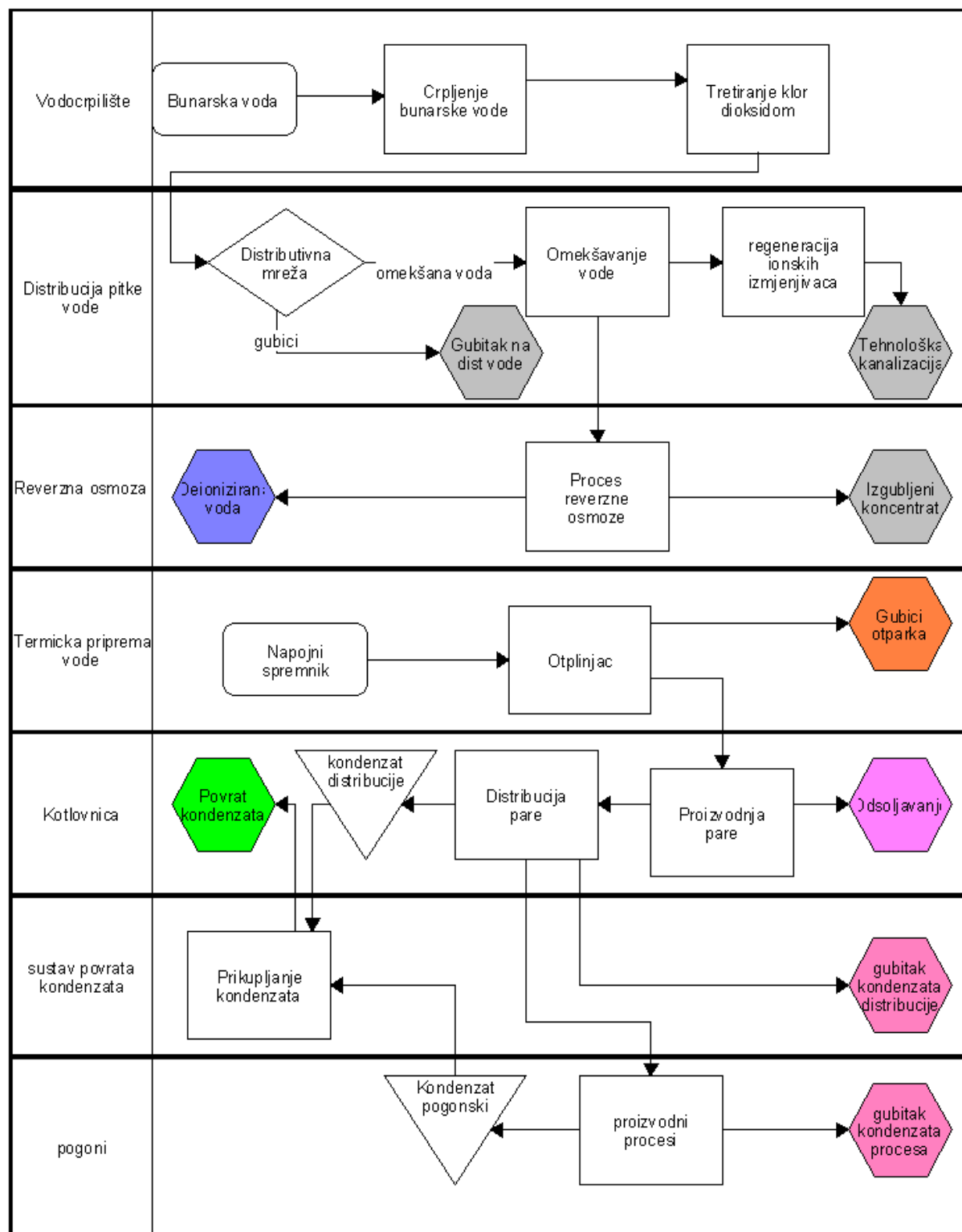
Za definiranje postojećeg stanja koristimo ranije spomenuti programski paket SigmaFlow, u kojem ćemo načiniti prikaz procesa i kasnije izvršiti simulaciju procesa, to jest usporedbom rezultata simulacije sa stvarno izmjerenim vrijednostima izvršiti validaciju.

Da bi smo mogli izvršiti simulaciju potrebno je prethodno izvršiti kvalitetno modeliranje, to jest izraditi pojednostavljeni prikaz realnog sustava odnosno simulacijski model., gdje se u prvom koraku definiraju svi odjeli (grupe aktivnosti), zatim su uvedene pojedine aktivnosti koja sudjeluje u promatranom procesu, te su na posljétku definirane međusobne relacije između pojedinih aktivnosti procesa. U tablici 21. prikazana je struktura procesa sa navedenim odjelima i aktivnostima:

**Tablica 21. Prikaz aktivnosti u procesu AS-IS proizvodnje i distribucije pare**

#	Act #	Department Name	Activity Name
1	2	Vodocrpilište	Bunarska voda
2	3	Distribucija pitke vode	Distributivna mreža
3	6	Distribucija pitke vode	Gubitak na dist vode
4	7	Distribucija pitke vode	Omekšavanje vode
5	18	Distribucija pitke vode	Tehnološka kanalizacija
6	23	Reverzna osmoza	Proces reverzne osmoze
7	48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat
8	60	Reverzna osmoza	Deionizirana voda
9	28	Termicka priprema vode	Otplinjac
10	56	Termicka priprema vode	Gubici otparka
11	62	Termicka priprema vode	Napojni spremnik
12	30	Kotlovnica	Proizvodnja pare
13	54	Kotlovnica	Odsoljavanje
14	59	Kotlovnica	Distribucija pare
15	61	Kotlovnica	Povrat kondenzata
16	63	Kotlovnica	kondenzat distribucije
17	32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata
18	53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije
19	33	pogoni	proizvodni procesi
20	51	pogoni	gubitak kondenzata procesa
21	64	pogoni	Kondenzat pogonski

Slika 4-14 prikazuje model promatranog procesa, koji se definira kao klasičan prikaz dijagrama toka procesa sa jasno naznačenim granicama logičkih cjelina to jest pod procesa (Vodocrpilište, Distribucija...).



Slika 4-14 Prikaz procesa u SigmaFlow prog. paketu

Nakon što je definiran tok procesa potrebno je izvršiti unos podataka u model, to jest prilagoditi kontinuirani simulacijski model – diskretnom simulacijskom modelu, za što je potrebno definirati karakteristiku svake pojedine aktivnosti u procesu, što je prikazano na slici 4-15, gdje je kao primjer uzeta aktivnost „Bunarska voda“ iz odjela " Vodocrpilište".

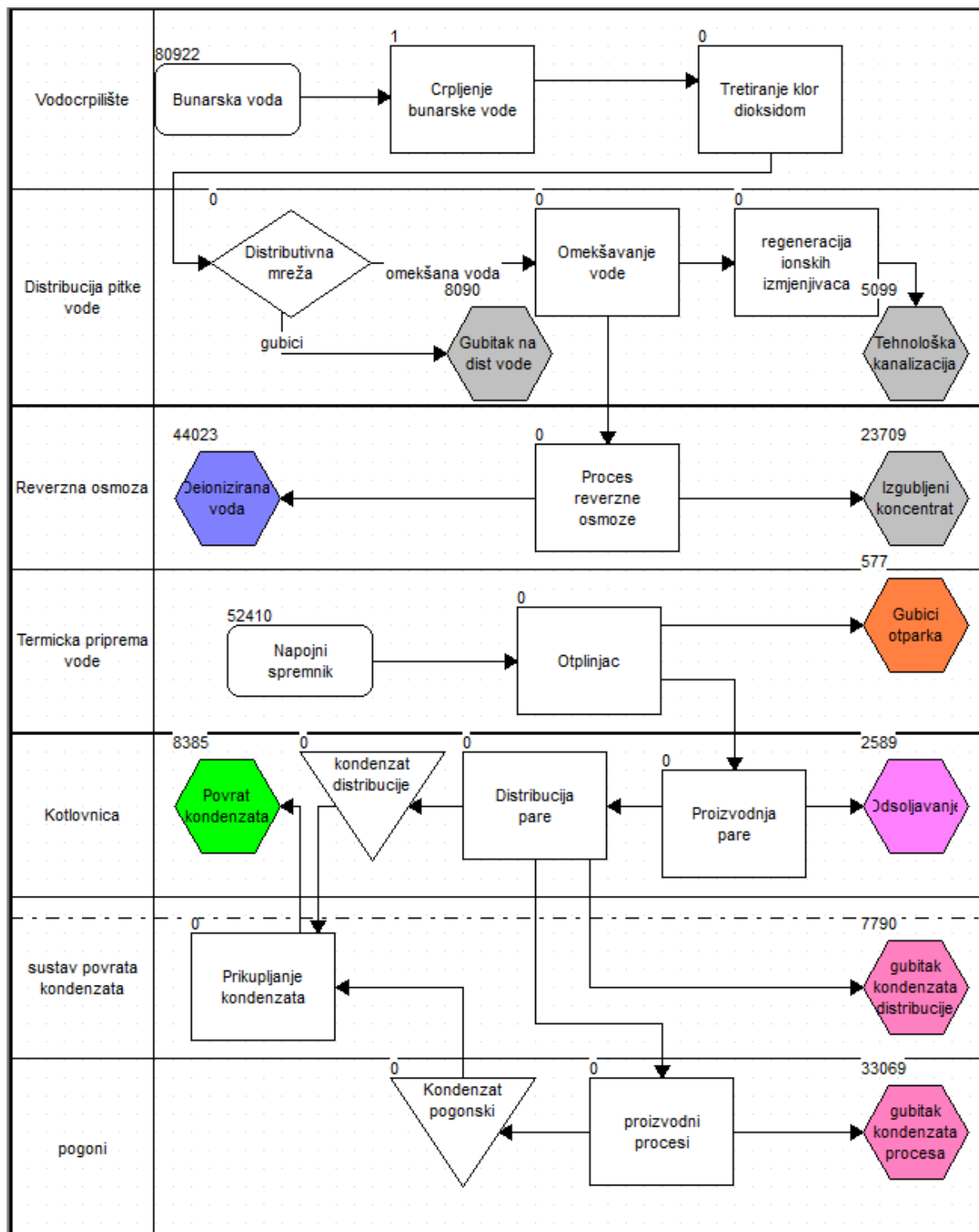
Kao vodeća vrijednost uzeto je vrijeme 6,156 minuta, kao prosječno vrijeme (takt), koje kazuje da je svake 6,156 minuta iscrpljena 1 m<sup>3</sup> bunarske vode - to jest da je prosječan protok 9,747 m<sup>3</sup>/h, uz naznaku da je to vrijeme sa dodanom vrijednošću (*eng. Value Added Time*) iznosi 100%, to jest da nema gubitaka.

Model Results	
Activity Data   Process Data   Model Data	
<b>Time</b>	6,156 Minute: ▾
VA (%)	100
BVA (%)	0
NVA (%)	0
<b>Cost</b>	0
VA (%)	100
BVA (%)	0
NVA (%)	0
<b>FTE</b>	0
VA (%)	100
BVA (%)	0
NVA (%)	0
Scrap %	0
Rework %	0
Right 1st Yield %	100
Traditional Yield %	100
DPMO	0
% Defect (Pd)	0,0000
<b>User Defined Fields</b> ...	

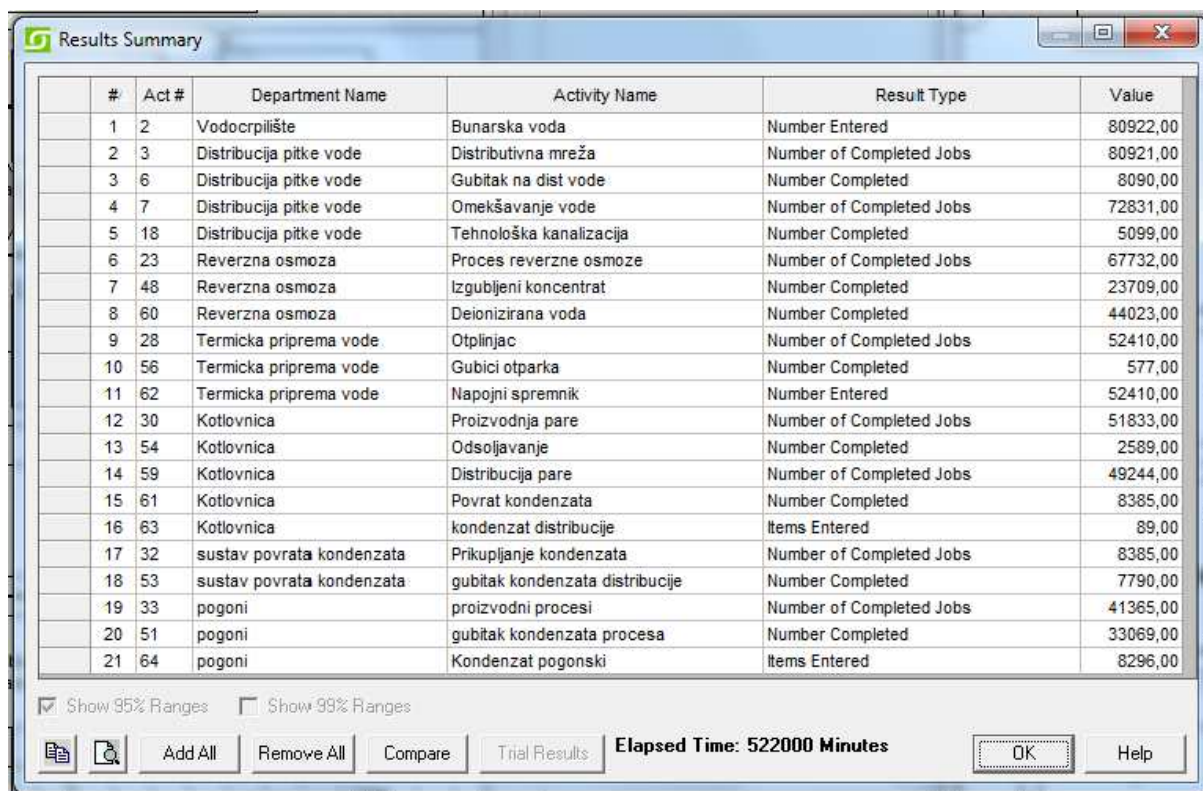
**Slika 4-15 Definiranje karakterističnih vrijednosti aktivnosti procesa**

Nakon definiranja svih parametara procesa provedena je provesti simulaciju AS-IS stanja, za što je potrebno definirati vrijeme trajanja simulacije. U ovom konkretnom slučaju za vrijeme trajanja simulacije uzeto je vrijeme od 522.000 minuta, što predstavlja razdoblje godišnje proizvodnje pare.

Na slici 4-16 prikazan je dijagram toka procesa nakon izvršene simulacije, gdje je vidljiva ulazna količina voda u proces i koja je raspodjela izlaza iz procesa, svojevrsna materijalna bilanca procesa, dok je na slici 4-17 prikazan sažetak rezultata u alatu SigmaFlow.



Slika 4-16 Prikaz dijagrama toka procesa As-Is



The screenshot shows the 'Results Summary' window in SigmaFlow. It contains a table with 7 columns: #, Act #, Department Name, Activity Name, Result Type, and Value. The table lists 21 simulation results. Below the table, there are checkboxes for 'Show 95% Ranges' and 'Show 99% Ranges', and buttons for 'Add All', 'Remove All', 'Compare', 'Trial Results', 'Elapsed Time: 522000 Minutes', 'OK', and 'Help'.

#	Act #	Department Name	Activity Name	Result Type	Value
1	2	Vodocrpilište	Bunarska voda	Number Entered	80922,00
2	3	Distribucija pitke vode	Distributivna mreža	Number of Completed Jobs	80921,00
3	6	Distribucija pitke vode	Gubitak na dist vode	Number Completed	8090,00
4	7	Distribucija pitke vode	Omekšavanje vode	Number of Completed Jobs	72831,00
5	18	Distribucija pitke vode	Tehnološka kanalizacija	Number Completed	5099,00
6	23	Reverzna osmoza	Proces reverzne osmoze	Number of Completed Jobs	67732,00
7	48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat	Number Completed	23709,00
8	60	Reverzna osmoza	Deionizirana voda	Number Completed	44023,00
9	28	Termicka priprema vode	Otplinjac	Number of Completed Jobs	52410,00
10	56	Termicka priprema vode	Gubici otparka	Number Completed	577,00
11	62	Termicka priprema vode	Napojni spremnik	Number Entered	52410,00
12	30	Kotlovnica	Proizvodnja pare	Number of Completed Jobs	51833,00
13	54	Kotlovnica	Odsoljavanje	Number Completed	2589,00
14	59	Kotlovnica	Distribucija pare	Number of Completed Jobs	49244,00
15	61	Kotlovnica	Povrat kondenzata	Number Completed	8385,00
16	63	Kotlovnica	kondenzat distribucije	Items Entered	89,00
17	32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata	Number of Completed Jobs	8385,00
18	53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije	Number Completed	7790,00
19	33	pogoni	proizvodni procesi	Number of Completed Jobs	41365,00
20	51	pogoni	gubitak kondenzata procesa	Number Completed	33069,00
21	64	pogoni	Kondenzat pogonski	Items Entered	8296,00

**Slika 4-17 Forma prikaza sažetka rezultata simulacije u SigmaFlow**

Rezultati simulacije postojećeg stanja prikazani su na slici 4-18.

#	Act #	Department Name	Activity Name	Value
1	2	Vodocrpilište	Bunarska voda	80.922,00
2	3	Distribucija pitke vode	Distributivna mreža	80.921,00
3	6	Distribucija pitke vode	Gubitak na dist vode	8.090,00
4	7	Distribucija pitke vode	Omekšavanje vode	72.831,00
5	18	Distribucija pitke vode	Tehnološka kanalizacija	5.099,00
6	23	Reverzna osmoza	Proces reverzne osmoze	67.732,00
7	48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat	23.709,00
8	60	Reverzna osmoza	Deionizirana voda	44.023,00
9	28	Termicka priprema vode	Otplinjac	52.410,00
10	56	Termicka priprema vode	Gubici otparka	577,00
11	62	Termicka priprema vode	Napojni spremnik	52.410,00
12	30	Kotlovnica	Proizvodnja pare	51.833,00
13	54	Kotlovnica	Odsoljavanje	2.589,00
14	59	Kotlovnica	Distribucija pare	49.244,00
15	61	Kotlovnica	Povrat kondenzata	8.385,00
16	63	Kotlovnica	kondenzat distribucije	89,00
17	32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata	8.385,00
18	53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije	7.790,00
19	33	pogoni	proizvodni procesi	41.365,00
20	51	pogoni	gubitak kondenzata procesa	33.069,00
21	64	pogoni	Kondenzat pogonski	8.296,00

**Slika 4-18 Rezultati simulacije postojećeg stanja procesa**

Nakon provedene simulacije moguće je međusobno usporediti rezultate simulacija sa ranije izvršenim simulacijama – u svrhu provjere pojedinih karakteristika aktivnosti procesa. U slučaju da postoje greške u definiciji karakteristika pojedinih procesa – rezultati simulacije biti će pogrešni, tako da je potrebno izvršiti dodatnu analitičku kontrolu rezultata simulacije to jest izvršiti validaciju postavljenog simulacijskog modela.

Rezultati generirani simulacijom moguće je prebaciti u obliku izvještaja u formu MS Excel, MS Power Point ili PDF.

Kao što je to ranije bilo navedeno, validacija modela obuhvaća sve potrebne provjere da li izgrađeni simulacijski model uistinu odgovara realnosti. Validacija se provodi tako da se kao ulaz simuliranog modela koriste ulazne varijable iz realnog sustava za koje su poznate izlazne varijable. Nakon simulacije uspoređuju se dobiveni rezultati s onima iz realnog sustava. Ako se poklapaju tada je modeliran sustav valjan.

U rezultatima simulacije najbitniji su podaci koji nam kazuju o veličinama na ulazu u proces, direktnim gubicima u procesu, na kojima će kasnije biti fokus, te naravno moramo imati karakteristične vrijednosti izlaza iz procesa – koji će biti fiksirani i kasnije u To-be simulaciji procesa. U našem slučaju izlaz iz našeg procesa koji ima dodanu vrijednost je aktivnost broj 33 "proizvodni procesi" koji nam kazuje koliko je pare iz procesa dostavljeno proizvodnim pogonima to jest potrošačima. U tablici 22. prikazane su karakteristične veličine procesa, koji opisuju cjelokupan proces, gdje su naznačeni i gubici u procesu, koji predstavljaju potencijalne kandidate za optimiranje.

Na "vodenoj" strani procesa imamo gubitke u distribucijskoj mreži, zatim gubitke pri regeneraciji omekšivača i naposljetku gubitke na samoj reverznoj osmozi u vidu ispuštenog koncentrata.

Na "parnoj" strani procesa imamo gubitke na otparku termičke pripreme vode, te gubitke u distribucijskoj mreži pare, koji se sastoje, kako smo ranije naveli – od gubitaka na izolaciji, na gubicima na propuštanjima cjevovodne armature, te na gubitke uzrokovane neispravnim radom odvajača kondenzata.

Navedene vrijednosti koristitimo kao referentnu točku, na osnovu koje ćemo procjenjivati efekte novoga / poboljšanog procesa.

**Tablica 22. Prikaz karakterističnih vrijednosti sadašnjeg stanja procesa**

#	Act #	Department Name	Activity Name	Value
1	2	Vodocrpilište	Bunarska voda	80.922,00
3	6	Distribucija pitke vode	Gubitak na distribuciji vode	8.090,00
5	18	Distribucija pitke vode	Tehnološka kanalizacija	5.099,00
7	48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat	23.709,00
10	56	Termicka priprema vode	Gubici otparka	577,00
17	32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata	8.385,00
18	53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije	7.790,00
19	33	pogoni	proizvodni procesi	41.365,00
20	51	pogoni	gubitak kondenzata procesa	33.069,00
21	64	pogoni	Kondenzat pogonski	8.296,00



#### 4.4. Faza Dizajniranja procesa

Nakon što smo analizirali postojeće procese i utvrdili dobre i loše strane postojećeg stanja (*eng. As-is*), gdje su utvrđeni i kvantificirani uzroci koji dovode do gubitaka u procesu, potrebno je nominirati prijedloge poboljšanja procesa, te nakon odabira poboljšanja i odobrenja od strane menadžmenta provesti tri osnovna koraka, a to su:

- razrada koncepta
- izrada u skladu sa principima Vitkog menadžmenta
- plan provođenja

Na osnovu provedene analize gubitka u postojećim procesima i prijedlogom potencijalnih kandidata za optimiranje, potrebno je donijeti odluku o odabiru rješenja koji će biti predmet daljnje razrade. Bitno je naglasiti da konačnu odluku o odabiru rješenja daje sponzor projekta na osnovu prezentiranih podataka poput procjene investicijskih troškova, analize rizika, prezentacije benefita nakon implementacije investicije, procjeni vremena izvedbe investicije, vremenu povrata investicije i tako dalje.

##### 4.4.1. Optimiranje procesa proizvodnje demineralizirane vode

Kako je od navedenih gubitaka u procesu proizvodnje i distribucije demineralizirane vode najteže rješavati problem gubitaka u distribucijskoj mreži pitke vode, radi glomaznosti i fizičke nepristupačnosti distributivne mreže, gdje se cjevovodi nalaze na 1,5-2,0 metra ispod površine zemlje, potrebno se fokusirati na ciljeve koji su u pogledu financijskog troška i vremenskih termina izvršenja pogodniji.

Za razradu koncepta redizajniranja procesa proizvodnje demineralizirane vode u kotlovnici, a nakon provedenog natječaja, angažirana je renomirana tvrtka koja ima bogato iskustvo izgradnje postrojenja za obradu voda. Na temelju projektnog zadatka izvršena je dodatna analiza postojećeg stanja i izvršena projekcija troškova investiranja u novi sustav reverzne osmoze kojim bi se prerađivao koncentrat kao i direktne uštede koje se takvim sustavom

ostvaruju. Bit prijedloga je ponovna obrada koncentrata tzv. reuse i njegov povrat u tehnološki proces obrade vode.

Postupak reverzne osmoze bazira se na osnovi prirodne pojave osmoze. Ako je slana otopina polupropusnom membranom odijeljena od čiste vode tada će molekule čiste vode nastojati proći kroz tu membranu u dio gdje je slana otopina, to se dešava prirodno bez bilo kakvog vanjskog utjecaja. Slana otopina bit će razrijeđena i povećat će joj se volumen.

Ova prirodna pojava je iskorištena te pomoću tehnike primijenjena u pripremi vode (odsoljavanju) ali samo u obrnutom smjeru. Tlačenjem slane otopine kroz membranu (tlak mora biti veći nego je prirodni osmotski tlak) u smjeru obrnutom od prirodnog, molekule čiste vode (Permeat) prolaze, a ostale substance (Koncentrat) budu zadržane na membrani.

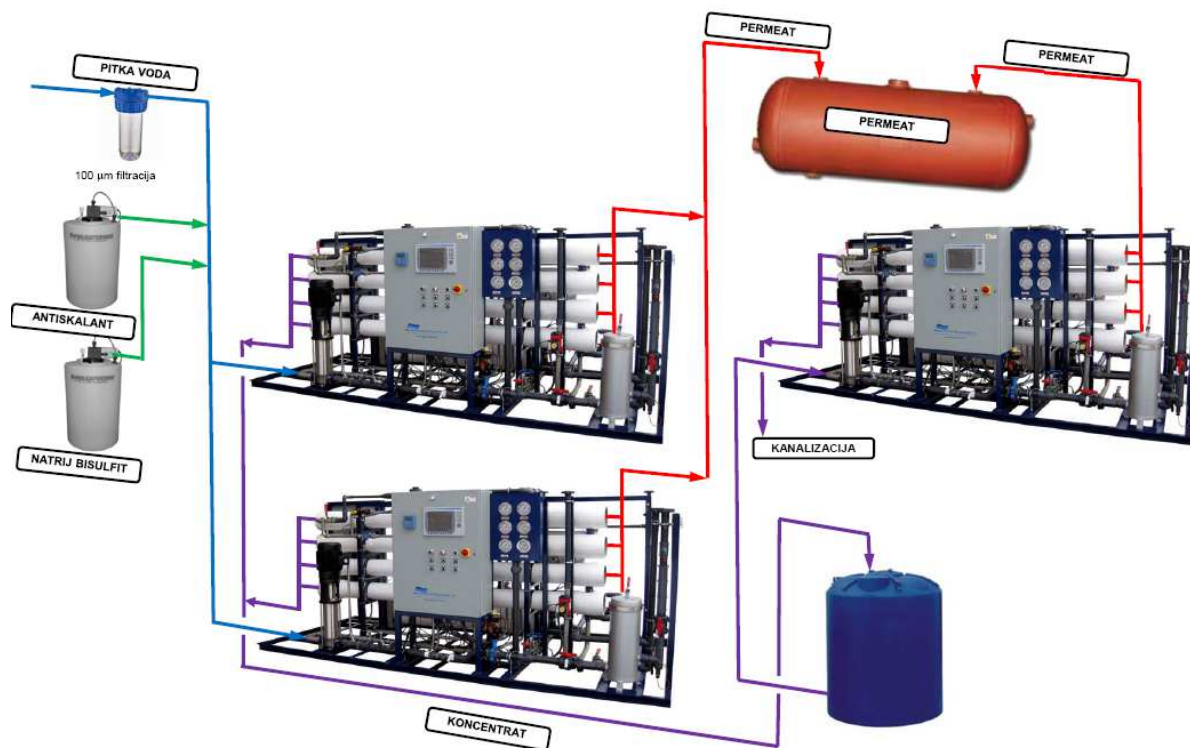
U kotlovnici postavljeni su uređaji za pripremu kotlovske vode na principu reverzne osmoze (RO). Postojeći sistem pripreme vode za parne kotlove postavljen je tako da voda iz bunara prolazi kroz kolone ispunjene ionskom masom neutralne izmjene (omekšivači), koji se regeneriraju otopinom kuhinjske soli.

Radi ušteda troškova nabavke soli uvodi se novi sistem predobrade bunarske vode doziranjem Antiskalanta, gdje se zamjenom omešivača sredstvom za prevenciju stvaranja depozita bitno smanjuju pogonski troškovi, a zadržava tražena kvaliteta ulazne vode na sustav reverznih osmoza. Prilikom obrade iskorištenje na ova dva uređaja je trenutno 65%. To znači da se 65% sirove vode obradi u visokokvalitetni permeat, a ostalih 35 % se ispušta u sanitarno tehnološku kanalizaciju. Neobrađeni koncentrat višestruko povećava fiksne troškove: ne samo one za iscrpljenu vodu, nego i za sustav obrade otpadnih voda.

Postoji mogućnost da se smanji količina otpadne vode uporabom dodatne reverzne osmoze, koja bi služila za potrebe obrade koncentrata. Rješenje predviđa prikupljanje koncentrata od postojećih reverznih osmoza u spremnik zapremine 5.000 lit. iz njega centrifugalnom vertikalnom crpkom napaja dodatna Reverzna osmozu koja će ga preraditi i 50-60 % vode će se vratiti ponovo u sistem a odbaciti svega 40-50%. Dodatna reverzna osmoza kapaciteta 10m<sup>3</sup>/h odvodi permeat u spremnike 2 x 2000 lit. povezane u spojne posude iz kojih sa centrifugalnom vertikalnom pumpom taj permeat ovisno o kvaliteti prebacujemo u spremnik kondenzata i zajedno sa kondenzatom trošimo za potrebe parnog kotla. Ukoliko permeat

prelazi vrijednosti  $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ , tada ga tlačimo u cjevovod bunarske vode i ponovo sa sirovom vodom šaljemo na preradu na postojeće RO.

Slika 4-19 prikazuje konceptualnu shemu postrojenja proizvodnje demineralizirane vode.



**Slika 4-19 Konceptualna shema proizvodnje demineralizirane vode**

U tu svrhu potrebno je izvršiti sljedeće radnje na postojećem postrojenju pripreme vode:

- izraditi bypas (zaobilazni) cjevovod koji bunarsku vodu dovodi na RO
- postaviti ispred svake RO dozirne pumpe Antiskalanta koji su vezani na pokretanje rad RO, kada krene RO kreće i doziranje Antiskalanta
- postaviti dozirne pumpe Na bisulfita koji reducira dezinfekcijsko sredstvo koje se nalazi u vodi ( $\text{ClO}_2$ )

Sve ostale radnje i automatika na RO ostaje ista.

Implementacijom tih rješenja moguće je reducirati ukupne potrošnju pitke vode za potrebe proizvodnje  $44.023 \text{ m}^3/\text{god}$  deionizirane vode sa  $80.922 \text{ m}^3/\text{god}$ , čija je raspodjela prikazana u tablici 23., na razinu od  $59.453 \text{ m}^3$ , čija je raspodjela prikazana u tablici 24.

**Tablica 23. Potrošnja pitke vode postojeće stanje**

<b>Bilanca vode pri demineralizaciji</b>	<b>m<sup>3</sup>/god</b>
Proizvedena demineralizirana voda	44.024
Gubici na RO – koncentrat	23.709
Gubici regeneracije omekšivača	5.099
Gubici na distribuciji vode	8.090
<b>Ukupno potrebna pitka voda</b>	<b>80.922</b>

**Tablica 24. Potrošnja pitke vode buduće stanje**

<b>Bilanca vode pri demineralizaciji</b>	<b>m<sup>3</sup>/god</b>
Proizvedena demineralizirana voda	44.024
Gubici na RO – koncentrat	9.484
Gubici regeneracije omekšivača	0
Gubici na distribuciji vode	5.945
<b>Ukupno potrebna pitka voda</b>	<b>59.453</b>

Usporedbom podataka iz tablica 23 i 24 vidljiv je potencijal uštede pitke vode u procesu demineralizacije, koji iznosi 21.469 m<sup>3</sup>/god ili cca. 26%, uz napomenu da uklanjanjem pod procesa omekšavanja vode štedimo i više od 70 tona soli godišnje koja se inače koristi pri regeneraciji omekšivača, što je dobitak i u kontekstu ekologije, gdje ne opterećujemo sustav obrade otpadnih voda sa dodatnim količinama klorida.

#### 4.4.2. Optimiranje procesa proizvodnje i distribucije pare

Predložene su mjere (aktivnosti) za optimiranje sustava proizvodnje i distribucije pare u četiri logičke cjeline to jest grupe, i to:

Mjere grupe A - domena redovnog održavanja

Mjere grupe B - domena investicijskog održavanja

Mjere grupe C - domena opće sigurnosti

Mjere grupe D - domena konceptualnih (sustavnih) promjena

Tablica 25. prikazuje prijedlog aktivnosti koje pripadaju domeni redovnog održavanja.

**Tablica 25. Mjere grupe A – domena redovnog održavanja**

Broj	Aktivnosti – Mjere grupe A	Investicija (Kn)	Benefit (Kn/god)	ROI
1	Rekonstrukcija parovoda i izolacije	1.500.000	1.333.142	1,13
2	Gubici propuštanja	350.000	1.075.621	0,33
3	Gubici otparka napojnog spremnika	150.000	212.285	0,71
4	Zamjena neispravnih odvodnika kond.	20.000	57.965	0,35
	Ukupno:	2.020.000	2.679.013	0,75

##### Ad 1. Rekonstrukcija parovoda i izolacije

Analizom gubitaka pare ustanovljeno je da su distributivni parovodi trenutno najveći izvor gubitaka pare, odnosno preko 9% ukupne proizvodnje pare u kotlovima. Za smanjenje tog gubitka predlaže se smanjenje nekoliko spojnih cjevovoda između stare turbo strojarnice i niskotlačne kotlovnice. Potrebno je također sanirati sva oštećenja izolacije i dodatno izolirati armaturu, prirubnice itd. Nakon odvajanja potrošača sa postojećeg distribucijskog parovoda, broj i kapacitet postojećih parovoda na glavnom parnom cjevovodnom mostu postaje preveliki. dio tih parovoda treba napustiti, odnosno konzervirati. Predloženom rekonstrukcijom duljina trasa bi se s oko 3000 m smanjila na 1.500 metara.

Nakon rekonstrukcije neće biti moguće eliminirati sve gubitke pare koji nastaju u distributivnim cjevovodima, ali ti gubici će se znatno smanjiti. Investicija se sastoji od troškova rekonstrukcije parovoda, prespajanju cjevovoda, dogradnja dijela parovoda, dogradnja dijela cjevovodnog mosta, demontaža nepotrebnih dijelova postojećih parovoda, nova zaporna armatura, popravak izolacije, dogradnja izolacije. izolacijske kutije, radovi, projektna dokumentacija i td.

#### Ad 2. Gubici propuštanja

Analizom gubitaka pare ustanovljeno je da su gubici propuštanja odnose 5,5% ukupne proizvodnje pare u kotlovima. Investicija se sastoji od troškova popravka ili djelomične zamjene parovoda koji propuštaju, promjena brtvi na spojnim mjestima s armaturom, zamjena armature s kvalitetnijom novom armaturom, popravak i zamjena rezervnih dijelova na armaturi većih dimenzija.

#### Ad 3. Gubici otparka napojnog spremnika

Analizom gubitaka pare ustanovljeno je da su gubici otparka otplinjača i napojnog spremnika treći najveći izvor gubitaka pare, odnosno 1% ukupne proizvodnje pare na kotlovima. Ugradnjom kondenzatora na liniju oduška mogao bi se kompletni otparak kondenzirati.

Investicija se sastoji od troškova parnog kondenzatora, priključnih cjevovoda, izolacija armature, radove i projektne dokumentacije.

#### Ad 4. Zamjena neispravnih odvodnika kondenzata

Na osnovu dostupnih mjerenja zaključilo se da su gubici zbog neispravnih odvodnika oko 0,3% ukupne proizvodnje pare na kotlovima. Investicija se sastoji od troškova zamjene neispravnih odvodnika, priključnih cjevovoda, izolacije, armature i radova.

Rješenja koja su nominirana iz domene redovnog održavanja su nužna i jednostavna, te ih je potrebno hitno provesti. Implementacijom tih rješenja moguće je reducirati ukupne gubitke na distribuciji pare za cca. 5.000 t/god. Zbirni prikaz gubitaka distribucije postojećeg stanja naznačen je u tablici 26, dok je u tablici 27 prikazana raspodjela gubitaka nakon provođenja mjera iz domene redovnog održavanja.

**Tablica 26. Zbirni prikaz gubitaka – parna strana postojeće stanje**

Vrsta gubitaka	t/god
Propuštanje na 4 bar-a razvodu	1.454
Propuštanje na 9 bar-a razvodu	1.418
Izolacija distributivnih cjevovoda	4.720
Neispravni odvodnici kondenzata	198
<b>Ukupno gubici</b>	<b>7.790</b>

**Tablica 27. Zbirni prikaz gubitaka – parna strana buduće stanje**

Vrsta gubitaka	t/god
Propuštanje na 4 bar-a razvodu	0
Propuštanje na 9 bar-a razvodu	0
Izolacija distributivnih cjevovoda	2.800
Neispravni odvodnici kondenzata	0
<b>Ukupno gubici</b>	<b>2.800</b>

Kao predmet daljnje razrade odabran je koncepti iz domene investicijskog održavanja.

Tablica 28. prikazuje prijedlog aktivnosti koje pripadaju domeni investicijskog održavanja.

**Tablica 28. Mjere grupe B – domena investicijskog održavanja**

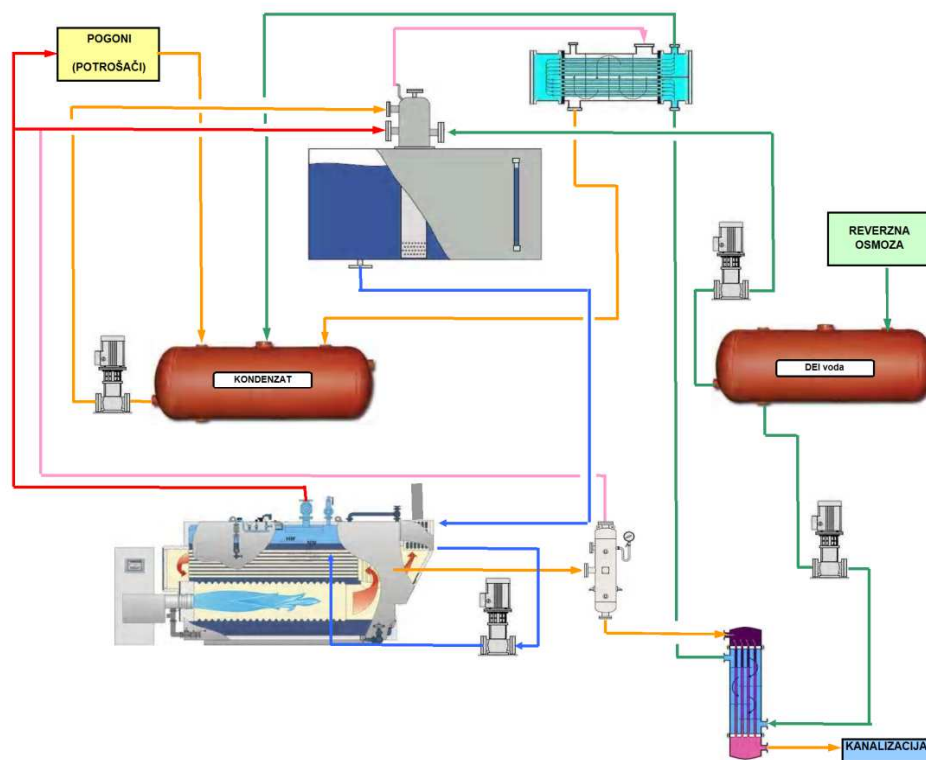
Broj	Aktivnosti – Mjere grupe B
5.	Ugradnja utilizatora otpadnih toplina odsoline kotlova
6.	Ugradnja ekonomajzera dimnih plinova

Ad 5. Ugradnja utilizatora otpadnih toplina odsoline kotlova

Za razradu koncepta utilizacije otpadne topline u kotlovnici, nakon provedenog natječaja, angažirana je tvrtka koja ima bogato iskustvo proizvodnje opreme za kotlovnice, toplinske stanice i procesnu industriju.

Na temelju projektnog zadatka definirana su dva mjesta nastanka otpadne topline koja se može iskoristiti. Prvo je otpadna toplina odsoline, gdje možemo ugradnjom ekspandera i izmjenjivača topline vratiti u proces proizvodnje pare oko 16,8 % odsoljene vode, to jest 435 tona pare i preko 90 % energije koju odsolina nosi. Drugo mjesto je odušak termičkog otplinjača na kojem se kontinuirano ispušta vodena para u količini cca. 2 kg po toni proizvedene napojne vode.

Konceptualna shema prikazana je na slici 4-20.



**Slika 4-20 Konceptualna shema utilizacije otpadne topline u kotlovnici**

Za hlađenje odsoline i otparka koristit će se demineralizirana voda iz postojećeg spremnika. Pumpa uzima vodu iz spremnika demineralizirane vode i transportira je u hladnjak odsoline. Nakon hladnjaka odsoline voda se dalje uvodi u pothlađivač pare oduška na otplinjaču.

Nakon izmjene topline u izmjenjivačima zagrijana demineralizirana voda će se ispuštati u spremnik kondenzata.

Ekspander služi za ekspaniranje pregrijane kapljevine (odsoline) pretlaka 8 bar na pretlak 0,2 bar. Kod toga dolazi do oslobađanja vodene pare pretlaka 0,2 barg, a ostalo je kondenzat temperature 105 °C. Oslobođena para se uvodi u napojni spremnik gdje sudjeluje u pospješivanju otplinjavanja CO<sub>2</sub> i time se smanjuje potrošnja svježe pare. Izmjenjivač topline odsoline služi za pothlađivanje kondenzata čime se postiže iskorištenje topline i ušteda na vodi za hlađenje prije ispuštanja u kanalizaciju. Ekspander i izmjenjivač topline odsoline povezani su u jednu funkcionalnu cjelinu opremljeni zapornom, sigurnosnom i mjernom armaturom za nesmetan rad.

Izmjenjivač topline otparka smješten je na termičkom otplinjaču i služi za kondenziranje pare koja izlazi sa otopljenim ne kondenzirajućim plinovima. Izveden je tako da vodena para kondenzira u plaštu, a demineralizirana voda struji u cijevima. Ispuštanje pare na otplinjaču



vrši za sve vrijeme pogona bez obzira na kapacitet kotlova. Kondenzacijom pare oduška otplinjača i pare oduška ekspandera vraća se i jednaka količina kondenzata što smanjuje potrebu za svježom napojnom vodom.

Implementacijom tog rješenja moguće je iskoristiti otpadnu toplinu, iskazanu u pare, u iznosu od cca. 1.733 t/god, što je prikazano u tablici 29.

**Tablica 29. Potencijal otpadnih toplina iskazana u pari**

<b>Potencijal otpadnih toplina</b>	<b>t /god</b>
Gubici otparka napojnog spremnika	575
Ekspander - otparak	435
Ekspander – odsolina zagrijavanje DEI v.	723
<b>Ukupno potencijal otpadnih toplina</b>	<b>1.733</b>

No da bi iskoristili otpadne topline ekspandera u vidu otparka i odsoline za zagrijavanje DEI vode potrebno je prethodno instalirati opremu za automatsko odmuljivanje i odsoljavanje kotlova.

#### Ad 6. Ugradnja ekonomajzera dimnih plinova

Dogradnjom dodatnog kondenzacijskog ekonomajzera moglo bi se dodatno iskoristi oko 4% dovedene energije gorivom. U taj ekonomajzer bi se uvodila dodatna voda. U ekonomajzeru iskoristila latentna toplina kondenzacije u vodenoj pari iz dimnih plinova.

Investicija se sastoji od troškova kondenzacijskog ekonomajzera, ventilatora dimnih plinova, rekonstrukcije dimnovodnog trakta oba kotla, dimnih zaklopki, izgradnja novog dimnjaka, dogradnja novog cjevovoda, armature i izolacije, automatske regulacije, građevinskih radova, projektne dokumentacije itd.

Tablica 30. prikazuje prijedlog aktivnosti koje pripadaju domeni opće sigurnosti.

**Tablica 30. Mjere grupe C – domena opće sigurnosti**

<b>Broj</b>	<b>Aktivnosti – Mjere grupe C</b>
7.	Ugradnja novog napojnog spremnika
8.	Ugradnja automatike odmuljivanja i odsoljavanja

#### Ad 7. Ugradnja novog napojnog spremnika

Postojeća termička priprema vode je stara i u lošem stanju. Potrebna je što skorija zamjena otplinjača, napojnog spremnika i armature. Ovu mjeru treba napraviti zbog opće sigurnosti i zbog sigurnosti kontinuirane opskrbe parom, a ne zbog energetske efikasnosti.

#### Ad 8. Ugradnja automatike odmuljivanja i odsoljavanja

Trenutno se kontinuirano odsoljavanje i povremeno odmuljivanje vrši ručno. Potrebno je ugraditi automatizirani sustav kako bi se ljudski faktor sveo na minimum.

Tablica 31. prikazuje prijedlog aktivnosti iz domene konceptualnih (sustavnih) promjena

**Tablica 31. Mjere grupe D – domena konceptualnih promjena**

Broj	Aktivnosti – Mjere grupe D
9.	Isključivanje malih potrošača sa distributivne parne mreže

#### Ad 9. Isključivanje malih potrošača sa distributivne parne mreže

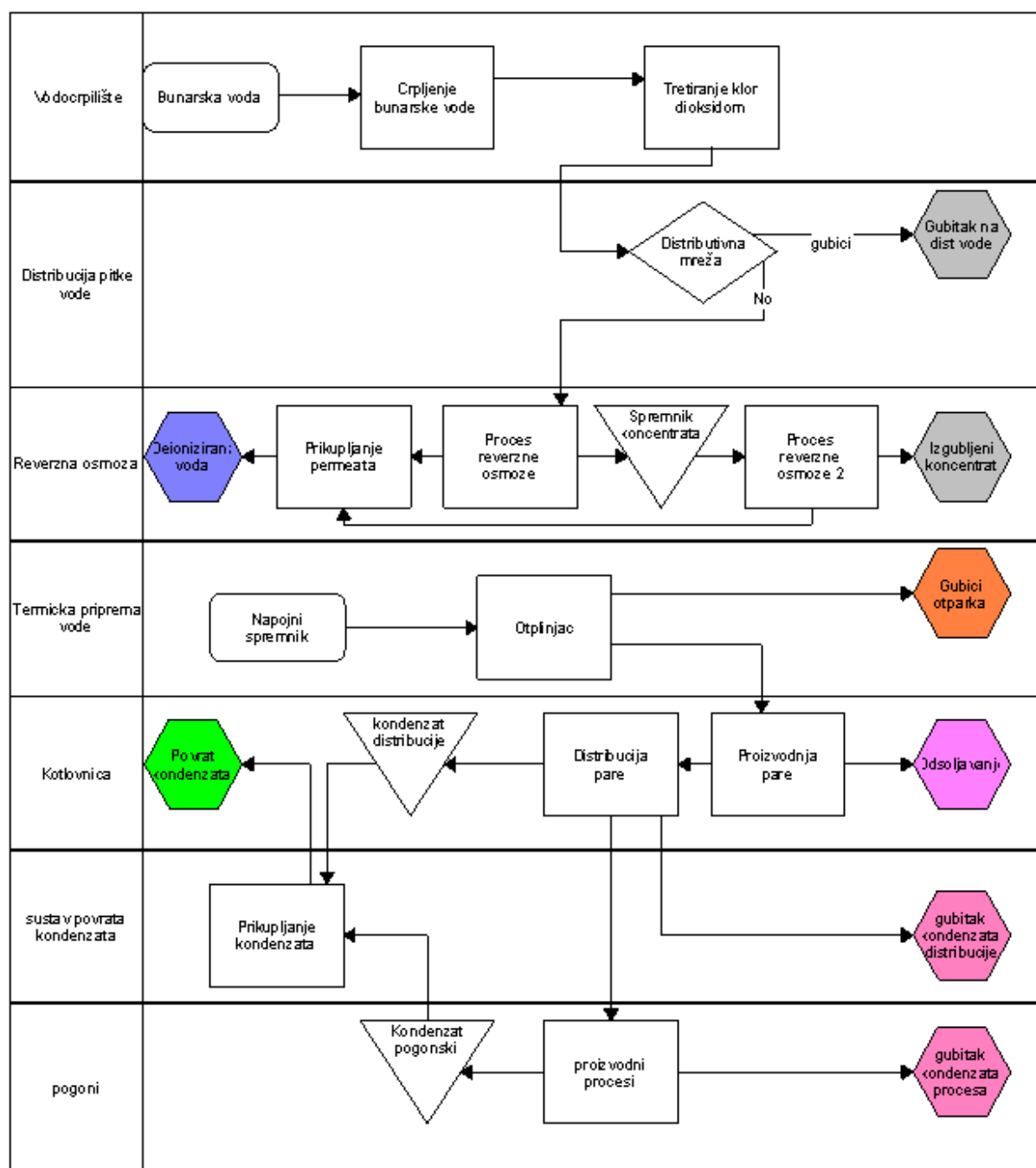
Iz analize strukture potrošnje vidljivo je da ima dosta malih potrošača pare, koji paru koriste samo za grijanje a ne i za tehnološke procese. Parno grijanje termodinamički nije povoljno, a također cijena pare (plina) je vrlo visoka pa se postavlja pitanje da li je isplativo napraviti rekonstrukciju grijanja i zamijeniti energent. U tu svrhu potrebno je isključiti male potrošače iz parnog sustava i omogućiti im prelazak na individualno plinsko grijanje putem plinskih bojlera ili plinskih grijača. Na taj način bi se moglo dodatno skratiti distributivna parna mreža.

Od navedenih nominiranih projekata odlučeno je uključiti u fazu dizajniranja novoga procesa, mjere iz domene grupe A - koje pripadaju redovnom održavanju i mjere grupe B koje pripadaju domeni investicijskog održavanja.

#### 4.4.3. Izrada modela budućeg stanja (To-be)

Nakon što je izvršena razradba konceptata može se pristupiti izradi modela budućeg (To-Be stanja), za što smo ponovno koristili programski paket SigmaFlow, unutar kojega smo unijeli sve ranije opisane izmjene u procesu.

Slika 4-21 prikazuje novi (poboljšani) proces, to jest prijedlog novog stanja procesa.



Slika 4-21 Prikaz budućeg stanja procesa u SigmaFlow soft. Paketu

U novom / poboljšanom procesu uzeti su slijedeće izmjene u procesu:

a) "vodena" strana

- uklanjanje pod procesa "omekšavanje vode", gdje smo eliminirali gubitke vode koji su se javljali pri regeneraciji ionskih izmjenjivača, a koji su iznosili cca. 7% ukupne količine vode koja se obrađivala u pod procesu omekšavanja
- nadogradnja procesa reverzne osmoze korištenjem dodatne reverzne osmoze u svrhu obrade koncentrata, čime je povećana efikasnost sustava; gdje su gubici smanjeni sa cca 35% na 18%.

b) "parna" strana

- ugradnja dodatnog izmjenjivača topline na termičkoj pripremi vode u svrhu kondenzacije otparka napojnog spremnika
- saniranje gubitaka u distributivnoj mreži pare predviđeno mjerama iz domene redovnog održavanja

Nakon definiranja svih parametara procesa provedena je simulacija budućeg stanja procesa, čiji su rezultati prikazani u tablici 32.

**Tablica 32. Rezultati simulacije budućeg stanja procesa**

Act #	Department Name	Activity Name	Value
2	Vodocrpilište	Bunarska voda	51.790,00
3	Distribucija pitke vode	Distributivna mreža	51.789,00
6	Distribucija pitke vode	Gubitak na dist vode	5.178,00
23	Reverzna osmoza	Proces reverzne osmoze	46.611,00
48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat	8.156,00
60	Reverzna osmoza	Deionizirana voda	38.455,00
66	Reverzna osmoza	Proces reverzne osmoze 2	16.224,00
68	Reverzna osmoza	Prikupljanje permeata	38.457,00
28	Termicka priprema vode	Otplinjac	51.833,00
56	Termicka priprema vode	Gubici otparka	0,00
62	Termicka priprema vode	Napojni spremnik	51.833,00
30	Kotlovnica	Proizvodnja pare	51.833,00
54	Kotlovnica	Odsoljavanje	2.589,00
59	Kotlovnica	Distribucija pare	49.244,00
61	Kotlovnica	Povrat kondenzata	13.376,00
63	Kotlovnica	kondenzat distribucije	5.080,00
32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata	13.376,00
53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije	2.799,00
33	pogoni	proizvodni procesi	41.365,00
51	pogoni	gubitak kondenzata procesa	33.069,00
64	pogoni	Kondenzat pogonski	8.296,00

Nakon što su generirani rezultati simulacije potrebno ih je usporediti sa rezultatima kod ranije provedenih analiza, te kao što smo to učinili nakon simulacije postojećeg stanja, tako ćemo i u ovom slučaju prikazati karakteristične veličine budućeg stanja procesa, što je prikazano u tablici 33.

**Tablica 33. Prikaz karakterističnih vrijednosti budućeg stanja procesa**

#	Act #	Department Name	Activity Name	Value
1	2	Vodocrpilište	Bunarska voda	51.790,00
3	6	Distribucija pitke vode	Gubitak na dist vode	5.176,00
5	48	Reverzna osmoza	Izgubljeni koncentrat	8.156,00
10	56	Termicka priprema vode	Gubici otparka	0,00
17	32	sustav povrata kondenzata	Prikupljanje kondenzata	13.376,00
18	53	sustav povrata kondenzata	gubitak kondenzata distribucije	2.799,00
19	33	pogoni	proizvodni procesi	41.365,00
20	51	pogoni	gubitak kondenzata procesa	33.069,00
21	64	pogoni	Kondenzat pogonski	8.296,00

Usporedbom rezultata simulacija postojećeg i budućeg stanja procesa, što je prikazano u tablici 34. vidljivi su efekti predloženih izmjena u procesu.

**Tablica 34. Usporedba sadašnjeg i budućeg stanja procesa**

Aktivnost	Postojeće	Buduće	Razlika	
	(t)	(t)	(t)	(%)
Bunarska voda	80.922,00	51.790,00	-29.132,00	<b>-36,0%</b>
Distributivna mreža	80.921,00	51.789,00	-29.132,00	<b>-36,0%</b>
Gubitak na dist vode	8.090,00	5.178,00	-2.912,00	<b>-36,0%</b>
Omekšavanje vode	72.831,00			
Tehnološka kanalizacija	5.099,00	0	-5.099,00	<b>-100,0%</b>
Proces reverzne osmoze	67.732,00	46.611,00	-21.121,00	<b>-31,2%</b>
Izgubljeni koncentrat	23.709,00	8.156,00	-15.553,00	<b>-65,6%</b>
Deionizirana voda	44.023,00	38.455,00	-5.568,00	<b>-12,6%</b>
Otplinjac	52.410,00	51.833,00	-577,00	<b>-1,1%</b>
Gubici otparka	577,00	0,00	-577,00	<b>-100,0%</b>
Napojni spremnik	52.410,00	51.833,00	-577,00	<b>-1,1%</b>
Proizvodnja pare	51.833,00	51.833,00	0,00	<b>0,0%</b>
Odsoljavanje	2.589,00	2.589,00	0,00	<b>0,0%</b>
Distribucija pare	49.244,00	49.244,00	0,00	<b>0,0%</b>
Povrat kondenzata	8.385,00	13.376,00	4.991,00	<b>59,5%</b>
kondenzat distribucije	89,00	5.080,00	4.991,00	<b>5607,9%</b>
Prikupljanje kondenzata	8.385,00	13.376,00	4.991,00	<b>59,5%</b>
gubitak kondenzata distribucije	7.790,00	2.799,00	-4.991,00	<b>-64,1%</b>
proizvodni procesi	41.365,00	41.365,00	0,00	<b>0,0%</b>
gubitak kondenzata procesa	33.069,00	33.069,00	0,00	<b>0,0%</b>
Kondenzat pogonski	8.296,00	8.296,00	0,00	<b>0,0%</b>

Iz prikazanih izvještaja simulacije može se zaključiti slijedeće:

- u postojećem i budućem stanju procesa količina proizvedene pare (51.833 tona godišnje) i pare predane pogonima za potrebe proizvodnih procesa (41.365 tona godišnje) je identična i ne mijenja se.
- sanacijom gubitaka u distributivnoj parovodnoj mreži ostvarenom rekonstrukcijom parovoda i popravkom izolacije cjevovoda, te zamjenom neispravne armature i odvajača kondenzata povećavamo ukupan povrat kondenzata za 4.991 tona godišnje. Povratom tog kondenzata u proces proizvodnje napojne vode smanjujemo potrebu za proizvodnjom deionizirane vode za istu tu količinu.
- Kondenzacijom otparka napojnog spremnika od 577 tona godišnje također smanjujemo količinu potrebne deionizirane vode za proizvodnju pare. Ukupna količinu potrebne deionizirane vode iznosi 38.455 tona godišnje, to jest 5.568 tona manje.
- Uporabom dodatne reverzne osmoze za obradu koncentrata primarnih reverznih osmoza smanjujemo ukupnu količinu otpadnih voda za 15.553 tone, uz naznaku da je razlika veća ne samo radi uvođenja dodatne opreme, već i zato što je smanjena ukupna količina potrebne deionizirane vode.
- Uporabom tehnologije kemijske predobrade vode doziranjem Antiskalanta umjesto korištenja omekšivača ostvarujemo uštedu od 5.099 t/god vode, koja se je prije koristila za potrebe regeneracije ionskih omekšivača.
- Prema analogiji ukupnim smanjivanjem potrebe za deioniziranom vodom potrebno je i manje ulazne bunarske vode.

Vezano uz ciljeve koji su definirani na početku projekta u Project charteru (Slika 4-2), u tablici 35. prikazana je usporedba vrijednosti zadanih ciljeva naspram ostvarenih ciljeva.

**Tablica 35. Ostvarenje ciljeva projekta u odnosu na planirano**

Ciljevi	Metrika	Planirani	Ostvareni	Razlika
- smanjiti gubitke u distribuciji t.e. za 30%	t/god pare	5.600	2.799	<b>-2.801</b>
- smanjiti uk. potrošnju vode za 30%	m <sup>3</sup> /god	57.000	51.790	<b>-5.210</b>
- smanjiti količinu otpadnih voda za 50%	m <sup>3</sup> /god	17.500	13.334	<b>-4.166</b>

Iz tablice 35. je vidljivo da su svi zadaci to jest ciljevi zadani u projektnom zadatku ostvareni, no bit pristupa Vitkog menadžmenta je kontinuirano unaprjeđenje, gdje se u konačnici teži svesti sve gubitke u procesu na nulu. U tablici 36 prikazano je ukupno ostvarenje smanjenje gubitaka u procesu u odnosu na početno to jest referentno stanje.

**Tablica 36. Ostvareno smanjenje gubitaka**

Ciljevi	Metrika	Početno stanje	Ostvareno stanje	
- smanjiti gubitke u distribuciji t.e. za 30%	t/god pare	8.000	2.799	<b>-65%</b>
- smanjiti uk. potrošnju vode za 30%	m <sup>3</sup> /god	81.000	51.790	<b>-36%</b>
- smanjiti količinu otpadnih voda za 50%	m <sup>3</sup> /god	35.000	13.334	<b>-62%</b>

Bitno je naglasiti da prije nego što se zaključi faza Dizajniranja budućeg procesa potrebno je izvršiti analizu rizika za odabrana rješenja, te dobiti suglasnost svih strana na koje novi proces direktno ili indirektno utječe. U slučaju farmaceutske industrije – nužno je pokrenuti Kontrolu izmjene (*eng. Change Control*), gdje je svaka od involviranih strana dužna dati svoj osvrt na nominirani izmjenu, te eventualno dati i zahtjev za provođenje dodatnih aktivnosti koje nisu bile inicijalno predviđene.

#### 4.5. Faza Verificiranja

Nakon što se izvršilo modeliranje i simulacija novoga procesa potrebno je izvršiti verifikaciju, to jest utvrditi da li naš novi proces ispunjava očekivanja. Zavisno od vrste projekta i raspoloživih financija i vremena vrši se i izrada Pilota, kako bi se potvrdili predviđeni rezultati. No, u našem slučaju izvršila se samo simulacija novoga procesa na bazi iskustva na sličnim postrojenjima.

Faza verifikacije obuhvaća tri grupe aktivnosti [13]:

1. Priprema Implementacije
2. Implementacija procesa
3. Predaja procesa korisniku

Ad 1. Pod pripremom implementacije podrazumijeva se definiranje plana implementacije, te svih ključnih indikatora izvedbe tako zvani KPI (*eng. KPI - key performance indicators*), na osnovu kojih ćemo pratiti uspješnost našeg procesa, a koje možemo također međusobno uspoređivati i stavljati u međusobne relacije, kako bi smo iz njih izvukli određene zaključke.

Također unutar pripremne faze potrebno je i pripremiti svu dokumentaciju vezanu uz novi proces, te izraditi standardne operativne procedure (SOP) kao osnovni operativni dokument.

Ad 2. Implementacija procesa koja je prethodno elaborirana i verificirana to jest odobrena obuhvaća sljedeće korake bitne uz planiranje i izvedbu projekta:

1. Ciljevi implementacije, moraju biti usklađeni / definirani na bazi Project Chartera
  - Zašto će se izvesti implementacija?
  - Što će se postići implementacijom?
  - Koja su ograničenja?
2. Aktivnosti, vrijeme i planiranje resursa , potrebno ih je odrediti
  - definirati aktivnosti
  - određivanje vremena
  - određivanje odgovornosti
  - vizualizacija putem Gantograma



3. Planiranje i kontrola budžeta, iz dva kuta gledišta

- Da li je planirani budžet za izvedbu projekta unutar planiranih/očekivanih granica?
- Da li su planirani proizvodni troškovi unutar planiranih/očekivanih granica?

4. Procjena rizika; može se procijeniti uz pomoć alata

- FMEA procesa
- matrica upravljanja rizikom

5. Strategija upravljanja promjenama, razvijena je na bazi sljedećih procedura

- analiza dionika procesa
- komunikacijski plan

6. Upravljanje i kontrola; omogućuje efikasnu implementaciju kroz:

- monitoring
- plan reakcije kada se pojavi odstupanje

Ad 3. Predaja procesa korisniku podrazumijeva da korisnik preuzima odgovornost za proces. Efikasno upravljanje projektom je bazirano na dugoročnom prikupljanju i analizi relevantnih podataka:

- finalizirana dokumentacija i SOP
- relevantni KPI i kontrolni parametri
- redovit i točan monitoring
- upravljanje procesom (uključujući Plan reakcije)
- uvođenje vlasnika procesa u Dijagram upravljanja procesa

## 5. ZAKLJUČAK

Suvremeni uvjeti poslovanja stavljaju zahtjeve pred tvrtke da ukoliko žele opstati na tržištu moraju biti fokusirane na kupce i težiti postizanju poslovne izvrsnosti posebno u kriznim uvjetima. Eliminacija gubitaka u cijelom procesu, umjesto samo u određenim dijelovima sustava postaje jedan od temeljnih ciljeva poduzeća. Jedan od procesa koji je prisutan u gotovo svakom proizvodnom pogonu jest proces proizvodnje i distribucije toplinske energije. Smanjivanje potrošnje energije i ostvarivanje povećane energetske učinkovitosti je dokazana strategija za rezanje i kontroliranje troškova uz dobar povrat uloženog.

U ovom završnom radu, na primjeru optimizacije proizvodnje i distribucije toplinske energije, kao jednog od podražavajućeg procesa unutar proizvodnje farmaceutskih proizvoda, prikazan je pristup vođenju projekta optimizacije kroz Šest Sigmu. Metodologija Šest Sigma daje fokus na potrebe kupca koji se utvrđuju uz pomoć alata VOC (VOC - eng. *Voice of the Costumer*), koji predstavlja glavnu pokretačku snagu Šest Sigma projekata. Uobičajeno je za Šest Sigma projekte koristiti dvije osnovne metode, DMAIC odnosno DMADV, ovisno o specifičnosti procesa i traženom rezultatu.

Općenito možemo reći da DMAIC metodu koristimo kako bi se unaprijedio postojeći proces, uz eliminaciju takozvane negativne kvalitete, dok DMADV koristimo za kreiranje novih procesa ili značajnu izmjenu postojećih procesa koje generiraju takozvanu pozitivnu kvalitetu. DMADV je poznat još kao i DFSS (eng. *Design for Six Sigma*) – Projektiran za Šest Sigmu.

U promatranoj studiji slučaja utvrđeno je da značajniju korist nije bilo moguće ostvariti samo grubim optimiranjem procesa, već je nužno unijeti i inovacije u proces kako bi se ostvarila značajnija korist, te je odabran DMADV pristup, koji nam omogućava sustavan pristup vođenja projekata na jasan i strukturiran, fazni, način.

U početnoj fazi, fazi **Definiranje** projekta korišteni su alati Šest Sigmie poput VOC (eng. *Voice of the Costumer*) - Glas Kupca, kako bi smo utvrdili potrebe kupca i SIPOC - Dobavljač, Ulaz, Proces, Izlaz i Kupac; koji smo koristili za definiranje strukture procesa.

U fazi projekta **Analiza**, koristili smo jedan od alata karakterističnog za Vitki menadžment - VSM (*eng. Value Stream Mapping*) – Mapiranje toka vrijednosti. Vitki menadžment stavlja u fokus utvrđivanje svih izvora neefikasnosti procesa, prije svega gubitaka u procesu, koji se vizualno jasno prepoznaju pri korištenju VSM alata, koji je korišten u sklopu programskog paketa SigmaFlow, a uz pomoć kojeg smo modelirali, odnosno opisali i definirali postojeće (*eng. As-is*) stanje procesa proizvodnje i distribucije pare, te smo na tom modelu izvršili simulaciju procesa.

Nakon izvršene analize pristupili smo fazi **Dizajniranje**, gdje su predložena poboljšanja postojećeg procesa. Ta poboljšanja smo kvantificirali, te izradili model budućeg stanja procesa. Simuliranjem novoga procesa dobili smo podatke o efektima promjena na pojedinim fazama procesa, koje smo zatim usporedili sa sadašnjim stanjem procesa.

Usporedbom rezultata simulacija postojećeg i budućeg stanja procesa utvrdili smo da postoji određena sinergija efekata pojedinačnih poboljšanja procesa, prvenstveno u vidu ukupnog smanjenja gubitaka na ukupnoj "vodenoj" strani procesa.

Efekt uvođenja predloženih poboljšanja projekta, koji se pratio kroz KPI (*eng. Key Performance Indicator*), očitava se u smanjenju gubitaka u distribuciji toplinske energije za 65%, smanjenju ukupne potrošnje bunarske vode za 36%, te na smanjenje količine otpadnih voda u procesu za 62%.

U fazi **Verifikacija** projekta koristio se pristup Vitkog menadžmenta pri izradi standarda uporabe novoga procesa, takozvani SOP – Standardna operativna procedura, koji je u konačnici predan korisniku. Pristup Vitkog menadžmenta pri izradi SOP-a manifestira se u činjenici da su sve aktivnosti koji su navedene u SOP-u jasno opisane i vizualizirane kako bi se minimizirala mogućnost pojavljivanja nerazumijevanja, to jest pogrešaka pri njihovoj primjeni.

Kao zaključak također možemo navesti da metodologije Vitki menadžment i Šest Sigma imaju jedinstven sinergijski učinak koji nam je neophodan pri rješavanju problematike optimizacije.

Osnovna prednost koja se ostvaruje primjenom vitkog načina razmišljanja dolazi iz temeljito drugačijeg pristupa, to jest iz načina na koji se vodi i upravlja postrojenjima. Manji dio tih prednosti može se pripisati dodatnoj automatizaciji, bržoj opremi ili sofisticiranijem IT-u.

Osnovno što čini razliku jest - kako se oprema (OEE)<sup>2</sup> i ljudi (OPE)<sup>3</sup> koriste za povećanje ukupne efikasnosti i smanjenje vremena koje ne donosi vrijednost. Kao posljedica, kapitalne investicije imaju manji utjecaj na ostvarenje nego što se to može postići ulaganjem u vrijeme koje ulažemo za rješavanje problema i obučavanje operatera da primjenjuju nove standarde i alate.

No, da bi ta transformacija uspjela potrebno je imati ispunjena tri osnovna preduvjeta:

1. Operativni sustav – **Svi** zaposlenici moraju biti upoznati sa osnovama Vitkog menadžmenta i izvorima neefikasnosti (gubici, varijabilnost i nefleksibilnost procesa), mora biti uspostavljena metrika za OEE i OPE i implementirani sustavi praćenja procesa i pristup *idi-i-vidi* (*eng. Learning to see*)
2. Upravljačka infrastruktura – implementiran sustav upravljanja izvedbom (KPI<sup>4</sup>, SMART ciljevi, sustav potvrđivanja procesa<sup>5</sup>..), strukturiran način rješavanja problema (*eng. problem solving*)
3. Mentalne postavke, Sposobnosti i ponašanje – implementirani analitički alati (ankete i strukturirani intervjui zaposlenika, fokus grupe, matrice osposobljenosti..), strukturirani način davanja povratne informacije (*eng. feedback*) i trening (*eng. coaching*) zaposlenika

---

<sup>2</sup> OEE - overall equipment efficiency

<sup>3</sup> OPE - overall people efficiency

<sup>4</sup> KPI – Key performance indicators

<sup>5</sup> Eng. Process confirmation

## LITERATURA

- [1] Cremer, P., Losch, M., Schrader, U., :*" Outpacing Change in Pharma Operations "*, McKinsey&Company, 2009
- [2] Brebrić, Ž., Mihalić, Ž., Herman, A., Liščić, I. *"Iskustva primjena Šest sigma metodologije u Plivi"* Zbornik radova 8. Hrvatska konferencija o kvaliteti, Brijuni 14-16.svibanj 2007
- [3] Hammer, M., Rutten, P., Somers, K.: *"Bringing lean thinking to energy"*, McKinsey Quarterly, 02.2014
- [4] Vrdoljak-Raguž I., (2012): *"Lean (vitki) menadžment – rješenje za krizna vremena"*, Časopis Suvremena trgovina br.03/2012, 07.2012
- [5] Klepić Hećimović B., *"Primjena metodologije Six Sigma & Lean u proizvodnji"*, Časopis Svijet po mjeri br.02/2013, 04.2013
- [6] Barbarić S. , Grubišić D., *"Sustavi kvalitete prednosti i nedostaci"*, Zbornik radova 10. Hrvatska konferencija o kvaliteti, Šibenik, 10-12 svibnja 2010
- [7] Tice, J.,Krane Peterfreund, E., Greenwood, R. :*"Resource Guide to Effective Utility Management and Lean"*, U.S. Enviromental Protection Agency, 2012
- [8] Mudronja V, :*"Kako tumačiti statističku definiciju metodologije "Šest sigma"?",* Zbornik radova 11. Hrvatska konferencija o kvaliteti, Brijuni, 9-11.svibanj 2011
- [9] Šakić N. *"Šest Sigma – strategija upravljanja poslovanjem i kvalitetom"*, Centar za transfer tehnologije i Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 12 lipanj 2008

- 
- [10] Pande P., Holpp L: *"What Is Six Sigma?"*, McGraw-Hill, 2002
- [11] KLEPIĆ HEĆIMOVIĆ B.:*"Primjena metodologije Six Sigma & Lean upravljanja u radu analitičkih laboratorija i upravljanja kvalitetom"*, Časopis Svijet po mjeri, br 04.2012, 12.2012
- [12] George M.,Rowlands D., Kastle B.:*"What is Lean Six Sigma"*, McGraw-Hill, 2004
- [13] Staudter C., Mollenhauer J.P., Meran R., Roenpage O., von Hugo C., Hamalides A., (2009): *"Design for Six Sigma + Lean Toolset – Implementing Innovations Successfully"*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.,2009
- [14] Law, A. M., W. D. Kelton., :*"Simulation Modeling and Analysis"*, McGraw-Hill Inc., 2000
- [15] Ingalls, R.G., (2001) *"Introduction to Simulation"*, Proceedings of the 2001 Winter Simulation, Conference, pp.7-16.

## KRATKI ŽIVOTOPIS

Damir Petrovečki rođen je 1977 u Zagrebu. Nakon završene srednje škole upisao je studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. U srpnju 2004. godine diplomirao je na katedri Industrijskog inženjerstva, kod mentora prof.dr.sc.Nikole Šakića, s radom "Cjeloviti informacijski sustav poduzeća servisne djelatnosti".

Zaposlenik je tvrtke "Pecon" od 2004 do 2006 gdje radi kao voditelj projekta uglavnom na projektima vezanim uz "Coca Cola" HBC proizvodne pogone u Italiji, Mađarskoj i Rusiji. U Hrvatskoj bio je voditelj projekta Rekonstrukcije i izmještanja tvornice Maraska u Zadru.

2006 pridružuje se poduzeću "Vivera", dio "HiPP grupe", kao Voditelj održavanja i energetike u proizvodnom pogonu u Glini, te se kasnije u 2007. zapošljava u Zvijezdi kao odgovorna osoba za strojarski dio kapitalnih investicija. Najvažnija investicija bila je Rekonstrukcija Rafinerije i Hidrirnice, gdje je implementiran know-how Desmet Ballestre u Zvijezdu.

Od 2010. do danas zaposlenik je "Plive", dio "TEVA Pharmaceuticals", kao Koordinator energetike. Od 2014. dio je OPEX (*eng. Operational Excellence*) tima kao *Change agent* i voditelj područja energetike u OPEX transformaciji u TAPI Hrvatska. Stručni suradnik tima OPEX Teva Global Operations, u izradi metodologije i radnih procedura vezanih uz energetiku kao dio TEVA Proizvodnog Sustava. Dobitnik Nagrade PLIVE 2014. kao član tima OPEX TAPI.

U dosadašnjem radnom iskustvu pohađao je brojne domaće i internacionalne stručne seminare. U 2014. započeo je edukaciju po programu EUREM (European Energy Manager). Aktivno se služi engleskim jezikom i živi u Zagrebu. Oženjen je i otac dvoje djece.

## SHORT BIOGRAPHY

Damir Petrovečki was born in 1977 in Zagreb, Republic of Croatia. After he completed high school, he enrolled in the study of mechanical engineering at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb. In July of 2004 he graduated from Department of Industrial Engineering under the mentorship of Prof. Nikola Šakić, PhD.Sc. The topic of his thesis was "Integrated Information System in service enterprise".

From 2004 to 2006 he worked at "Pecon" as Project Manager in various capital projects in Coca Cola HBC sites in Italy, Hungary and Russia. In Croatia he was leading a project of reconstruction and dislocating of Maraska facilities in Zadar.

In 2006 he joined "Vivera", HiPP group as Head of maintenance & energy supply in Glina facility and later in 2007 he joined "Zvijezda" as a responsible person for mechanical aspect of capital investment projects. Main project was the Reconstruction of Refinery and Hydrogenation plants, where Desmet Ballestra know-how was introduced to Zvijezda.

From 2010 until now he is working in "PLIVA, TEVA Group member" as a Head of power supply. From 2014 he is a part of OPEX team as Change agent and Energy stream leader of OPEX transformation in TAPI Croatia. Expert associate to OPEX transformation team, Teva Global Operations, in codifying energy working standards implemented in Teva Production System. Winner of PLIVA Award 2014. as OPEX TAPI team member.

During his professional life he participated in numerous local and international professional trainings. In 2014. he started EUREM education for European energy manager. He is proficient in English and lives in Zagreb. Married with two children.